

Marin Olli-Pekka

**OMAKOTITALON JÄÄHDYTYS MAAVIILEÄLLÄ JA PUHALLIN-  
KONVEKTORILLA**

# **OMAKOTITALON JÄÄHDYTYS MAAVIILEÄLLÄ JA PUHALLIN- KONVEKTORILLA**

Olli-Pekka Marin  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä(t): Olli-Pekka Marin

Opinnäytetyön nimi: Omakotitalon jäähdytys maaviileällä ja puhallinkonvektorilla

Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 74 + 1 liite

---

Työn lähtökohtana oli arvioida, riittääkö porakaivon jäähdytyskapasiteetti viilentämään omakotitalo suoralla kytkennällä eli vapaalla jäähdytyksellä, jos porakaivoa käytetään talvella asuintalon lämmittämiseen ja kesällä viilentämiseen puhallinkonvektorin avulla. Tarkastelut suoritetaan teorian pohjalta sekä erilaisten mallinnusohjelmien avulla.

Työssä esitellään erilaisia puhallinkonvektorin kytkentävaihtoehtoja ja omakotitalojen jäähdytystehontarpeita, jotka laskettiin Riuska-ohjelmalla. Lisäksi taloihin simuloitiin porakaivot EED-ohjelmalla, jolla tarkasteltiin liuoksen lämpötiloja jäähdytyskaudella. Työtä tehtäessä huomattiin, että jos liuoksen virtaus jää kaivossa laminaariseksi, liuoksen lämpötila voi nousta kesällä huomattavasti. Kuitenkin jos jäähdytysteho on pieni, kaivon laminaarisella virtauksella ei ole niin suurta merkitystä. Kaivon syvyydelläkin on merkitystä. Mitä syvempi kaivo, sitä pidempään liuos on kaivossa ja ehtii jäähtyä, vaikka virtaus olisi laminaarista. Virtaus saadaan kaivossa turbulenttiseksi kytkemällä maalämpöpumpun liuospumppu pyörimään viilennystarpeen aikana.

Passiivisilla jäähdytyskeinoilla on suuri vaikutus jäähdytystehontarpeeseen. Esimerkkikohteiden mitoituspäivän jäähdytystehosta saadaan 39–51 % pois lisäämällä ikkunoihin sälekaihtimet. Jäähdytyskauden jäähdytysenergiaa voidaan sälekaihtimilla pienentää 51–81 %. Paikkakunnalla, Oulu tai Helsinki, ei ole käytännössä merkitystä mitoitusjäähdytystehoon. Jäähdytysenergiaa sen sijaan kuluu Helsingissä hieman enemmän.

Työssä käytettyihin esimerkkikohteisiin saataisiin hyvin toimiva viilennysjärjestelmä maaviileällä ja puhallinkonvektoreilla, kun otetaan huomioon passiiviset jäähdytyskeinot.

---

Asiasanat: maakylmä, maaviileä, puhallinkonvektori, jäähdytys

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 GEOENERGIA	6
2.1 Porakaivo	8
2.2 TRT-testi	9
2.3 Kaivon rakenne ja syvyys	11
3 JÄÄHDYTYS	15
3.1 Jäähdytystehontarve	16
3.2 Tuloilman jäähdytys	17
3.3 Puhallinkonvektori	19
3.3.1 KytKentä vaihtoehtoja	20
3.3.2 Painehäviöiden laskenta	25
3.3.3 Painehäviö kaavat	26
4 ESIMERKKIKOhteET	32
4.1 Jäähdytystehontarpeet	32
4.1.1 Talo A	33
4.1.2 Talo B	41
4.1.3 Talo C	49
4.1.4 Yhteenveto	56
4.2 Energiakaivojen lämpötilat	57
4.2.1 Talo A	60
4.2.2 Talo B	64
4.2.3 Talo C	68
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	72
LÄHTEET	73
LIITE 1 Etanolin aineominaisuudet	75

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten suuret jäähdytystehot omakotitaloissa on eri paikkakunnilla ja miten passiiviset ratkaisut vaikuttavat jäähdytystehon tarpeeseen. Työssä laskettiin jäähdytystehontarpeet kolmeen omakotitaloon Riuska-laskentaohjelmalla. Talot ovat tavallisia 1- ja 1,5-kerroksisia sekä arkkitehdin suunnittelema 2-kerroksinen talo, jossa on suuret ikkunat.

Lisäksi selvitettiin, riittääkö porakaivoissa jäähdytyskapasiteetti, kun kaivo on mitoitettu lämmitystarpeen mukaan, ja kuinka lämpötilat muuttuvat porakaivossa kesällä viilennyksen aikana. Porakaivoja simuloitiin EED-kaivonmitoitushjelmalla.

Työssä käytiin läpi puhallinkonvektorien erilaisia kytkentävaihtoehtoja ja tarkasteltiin, kuinka isolla putkella täytyisi konvektorien kytkentäputket tehdä, jotta haluttu virtaama ja -teho saavutettaisiin.

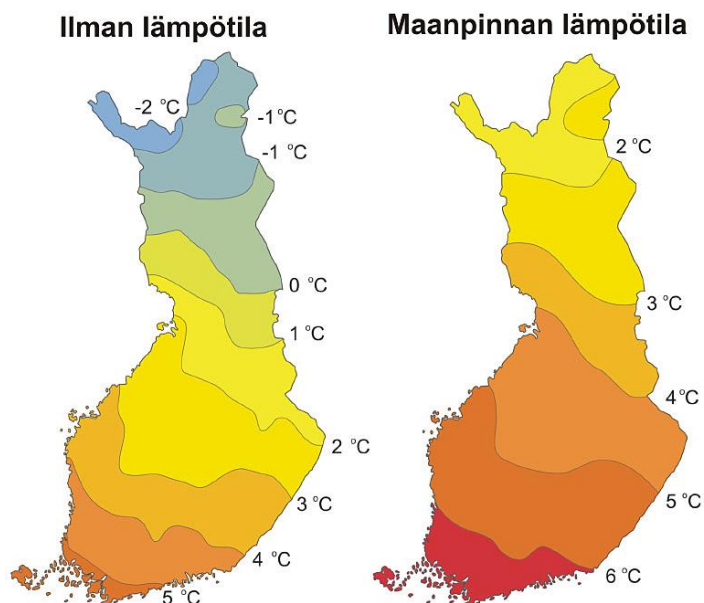
Työn tilaajana toimi LämpöYkkönen Oy, joka on maanlaajuisesti toimiva yritys ja Suomen suurin lämpöpumpputoimittaja urakointi puolella. LämpöYkkönen tarjoaa asiakkaille ympäristöystävällisiä, mahdollisimman kustannustehokkaita ja energiaa säästäviä lämmitys- ja viilennysjärjestelmiä.

## 2 GEOENERGIA

Geoenergia on yhteisnimitys kallioperästä, vesistöistä, vesistöjen pohjasedimentistä ja maan pintakerroksesta saatavalle lämmitys- ja viilennysenergialle (1; 2). Tärkein ja helpoiten hyödynnettävissä oleva lämpöenergia Suomessa on maahan, veteen tai kallioon varastoitunutta auringon säteilyenergiaa. Muita lämmön syntytapoja ovat maan ydin- ja sisäosien sula massa sekä radioaktiivisten aineiden hajoamisprosesseista tuleva lämpö (3, s. 269).

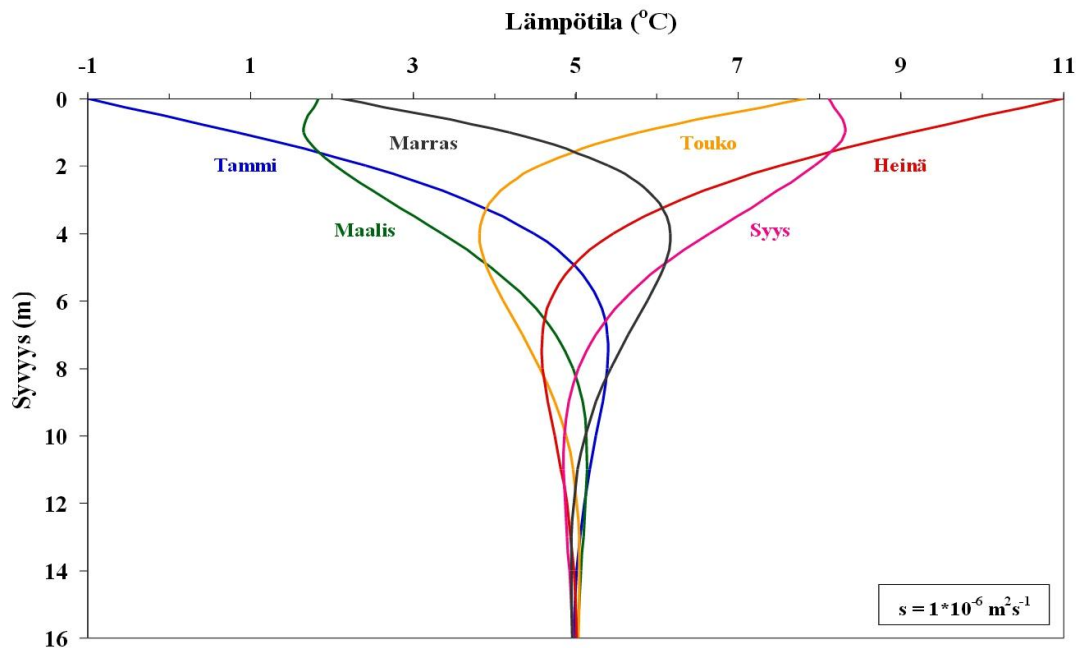
Hyödyntämällä geoenergiaa, lisätään energiaomavaraisuutta ja vähennetään riippuvuutta ulkomailta tuotavista polttoaineista. Suomen ja Euroopan Unionin ilmastostrategia on vähentää kokonaisenergiankulutusta ja lisätä uusiutuvan energian suhteellista osuutta. Uusiutuvaa geoenergiaa hyödyntämällä toteutetaan tätä. (2.)

Maankamaran keskilämpötila on Suomessa kuvan 1 mukaisesti suhteellisen alhainen. Kuvasta voidaan lukea, että maanpinnan keskilämpötila on noin kaksi astetta korkeampi kuin vastaavalla vyöhykkeellä oleva ilman keskilämpötila. Maanpinnan keskilämpötilat pysyvät plussan puolella koko maassa. (1.)



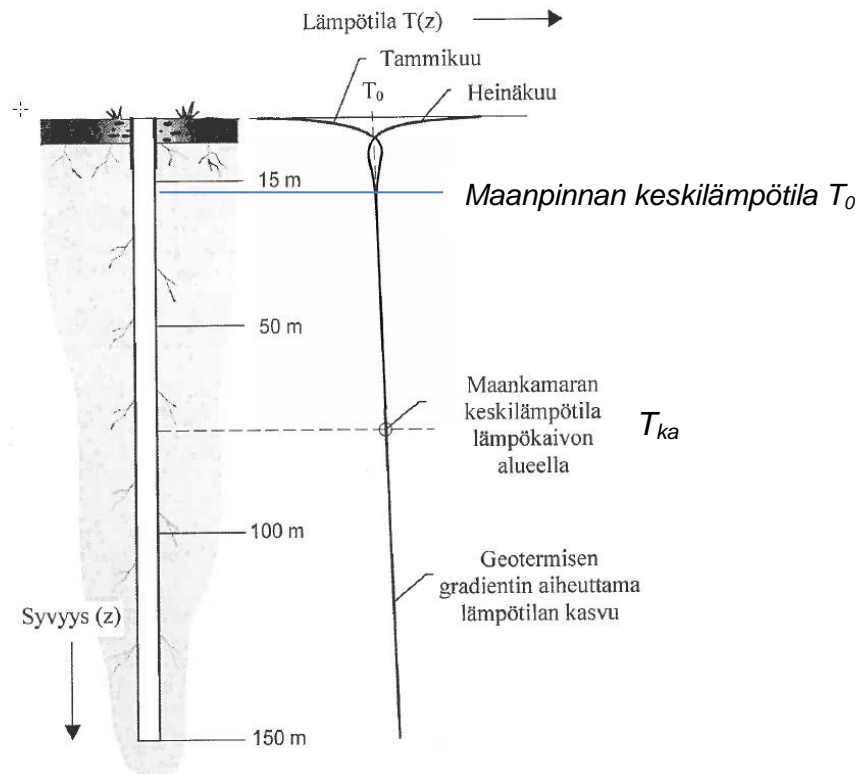
KUVA 1. Ilman ja maanpinnan vuoden keskilämpötilat Suomessa (4, s. 11)

Maaperän pintaosien lämpötila voi muuttua suuresti vuodenaikojen mukaan. Vuodenaikojen mukaan tapahtuva lämpötilojen muuttuminen ulottuu vain noin 14–16 m:n syvyydelle, mikä kuvastaa maanpinnan keskilämpötilaa (kuvat 1 ja 2). Siitä alaspäin mentäessä lämpötila ei muutu vuodenaikojen mukaan, jos lämpötasapainoa ei häiritä. Kallioperässä lämpötila kasvaa geotermisen gradientin mukaan n. 0,8–1,5 °C jokaista 100:aa metriä kohti. (3, s. 270–271.)



KUVA 2. Maanpinnan lämpötilat joka toiselle kuukaudelle syvyyden funktiona (4, s. 7)

Mitoituksessa voidaan kaivon ympäristön ja maankamaran keskilämpötilana  $T_{ka}$  pitää riittävällä tarkkuudella lämpötilaa, joka vallitsee kaivon puolivälissä (kuva 3). Normaalisyvyisten (100–300 m) kaivojen mitoituksessa  $T_{ka}$  on maanpinnan keskilämpötila  $T_0$  lisättynä geotermisen gradientin, joka on n. 0,8–1,5 °C / 100 m. (5, s. 6–7.)



KUVA 3. 150 m syvän lämpökaivon lämpötilat. Kursivoidut tekstit lisätty itse kuvaan (4, s. 25)

Suomessa lämmönlähde, maankamara on suhteellisen viileä, joten sitä voidaan hyödyntää viilennysenergian saannissa ilman erillistä jäähdytyskonetta (1). Sähköä tarvitaan vain kiertovesipumpun ja puhallinkonvektorin puhaltimen pyörittämiseen. Varsinainen kylmä saadaan kaivosta ilmaiseksi ja sinne ladataan lämpöä talvea varten.

Energiakaivosta noudetaan lämpöä talven aikana, jolloin kaivo viilenee. Kesällä, kun jäähdytyskausi alkaa, käytetään viileää kallioperää kiinteistön viilennykseen. Viilennyksen aikana kallioon latautuu lämpöenergiaa. (2.)

## 2.1 Porakaivo

Kallioon porattuja reikiä kutsutaan lämpö- tai energiakaivoiksi, joita voidaan hyödyntää lämmön ottoon tai lämmön antoon eli viilennykseen. Energiakaivonimitys on vakiintunut käyttöön, koska kaivoja käytetään sekä lämmitykseen että viilennykseen. Energiakenttä sisältää useita energiakaivoja. (3, s. 274.)



Tavallisesti lämpö- tai viilennysenergia kerätään kaivosta suljetulla putkistolla, jossa kiertää neste, jolla on matala jäätymispiste. Yleisin käytetty liuos on etanoliliuos, jonka vahvuus painoprosenteina on 28 ja jäätymispiste n.  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nesteen lämpötila on jäähdytyskäytössä ympäristöä lämpimämpi ja lämmityskäytössä ympäristön lämpötilaa matalampi. (3.)

Energiakaivoja voidaan hyödyntää jäähdytykseen ja se on jopa suositeltavaa. Jäähdytyslämpö lämmittää energiakaivon ympäröivää kalliomassaa ja täten se palautuu paremmin talven rasituksilta. Poraus kustannuksissa ei kuitenkaan voida säästää sillä perusteella että kaivoa käytetään myös viilennykseen, sillä 500 kWh:n viilennysmäärällä voidaan kaivon syvyyttä pienentää vain 0,65 metriä. (4, s. 67.) Kirjallisuuden mukaan suoraa jäähdytystehoa olisi saatavissa 10–20 W/m riippuen energiakentän kuormitushistoriasta (3, s. 277).

Yhden kaivon järjestelmä pystytään mitoittamaan kokemusperäisesti ja ns. nyrkkisääntöjä käyttäen, mutta jo kaksi vierekkäistä kaivoa vaikuttavat toistensa toimintaan ja vaikeuttavat mitoitusta (5, s. 1). Useamman kaivon kaivokentän mitoittamiseen kannattaa käyttää siihen tarkoitettua mitoitusohjelmaa.

## **2.2 TRT-testi**

Kun kaivoja on kymmeniä, kannattaa teettää terminen vastetestti eli TRT-mittaus (Thermal Responce Test). Mittauksella selvitetään energiakaivon termiset ominaisuudet. Kun mittaukselliset tulokset ovat selvillä, voidaan niiden perusteella suunnitella ja mitoittaa energiakaivokenttä viilennys- tai lämmityskäyttöön. (6; 7.)

Testi jäljittelee lämpöpumpun toimintaa, mutta kääntäen. Testin ensimmäisessä vaiheessa lämmönkeruunestettä kierrätetään kaivossa ilman lämmitystä 10–24 tuntia, jolloin voidaan mitata maaperän lämpötila. Testin toisessa vaiheessa kierrätettävää nestettä lämmitetään sähkövastuksilla. Menevän ja palaavan nesteen lämpötilaeron perusteella voidaan päätellä kallioperän tehollinen lämmönjohtavuus ja kaivon lämpövastus. Testissä mitataan, kuinka paljon kaivo voi vastaanottaa lämpöä. Testin toinen vaihe kestää 48–100 tuntia (6; 7.)

Tehollinen lämmönjohtavuus kertoo alueen kivilajin lämmönjohtavuuden lisäksi mahdollisista alueen pohjaveden virtauksista. Mitä korkeampi lämmönjohtavuus

on, sitä pidemmälle lämpö kulkeutuu ja sitä enemmän kaivosta saadaan joko viilennys- tai lämmitysenergiaa. (5, s. 3.)

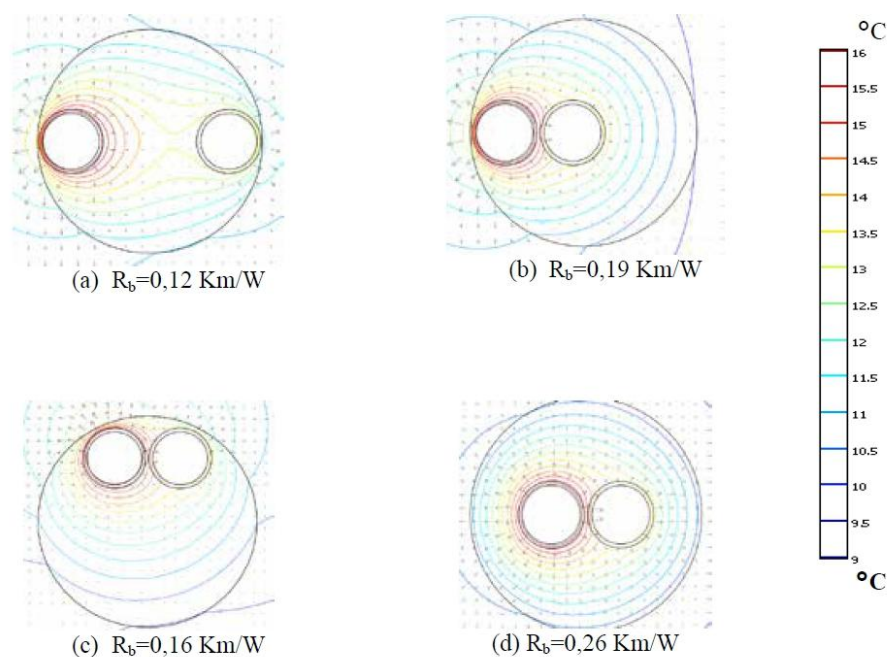
Suomen kivilajien lämmönjohtavuuksissa voi olla huomattaviakin eroja. Graniitin keskimääräinen lämmönjohtavuus on n. 3,4 W/(mK) ja kiilleliuskeen 2,0 W/(mK) (6). Taulukossa 1 on lueteltu Suomessa esiintyvien kivilajien tyypillisiä arvoja.

*TAULUKKO 1. Suomen yleisempien kivilajien arvoja (5, s. 9)*

Kivilaji	Mitattu lämmönjohtavuus W/(mK)	Tyypillinen kirja-arvo W/(mK)
Graniitti	2,9 – 4,2	3,24
Granodioriitti	2,6 – 4,1	3,17
Kiilleliuske	2,3 – 3,5	2,86
Kiillegneissi	2,9 – 3,5	3,01
Dioriitti	3,2 – 3,3	3,43
Kvartsimaasälpägneissi	3,5 – 4,0	3,59
Kalkkikivi	1,7 – 3,0	2,50
Kvartsiitti	5,0 – 7,0	5,52
Saviliuske, -kivi	1,7 – 3,4	2,40

Kaivojen mitoitusohjelmiin on listattu tyypillisten kiviaineiden ominaisuuksia. Kaikki arvot eivät ole todellisia Suomessa esiintyvien kivilajien kanssa. Kivilajin mineraalikoostumus vaihtelee sijainnin mukaan ja täysin puhdasta kivilajia löytyy harvoin. Lähtöarvoja syötettäessä täytyy tarkistaa että käytetty arvo on realistinen. Suomen kallioperäkarttaa voi tarkastella osoitteessa [www.geo.fi](http://www.geo.fi) (5, s. 9.)

Lämpövastus kuvaa sitä, kuinka hyvin lämpö siirtyy nesteen ja kaivon seinämän välillä. Mitä pienempi arvo on, sitä helpommin lämpö siirtyy (3, s. 3). Kuvassa 4 osoitetaan, kuinka putken sijoittelu kaivoon vaikuttaa lämpövastukseen (8, s. 85).



**KUVA 4.** Putken sijoittelun vaikutus lämpövastukseen, kyseessä PE40 x 2,4 mm:n putki ja halkaisijaltaan 140 mm:n porakaivo (8, s. 85)

## 2.3 Kaivon rakenne ja syvyys

Rakennuksen energiatarve ja mahdollisen maalämpöpumpun COP-arvo määrittävät kaivon syvyyden ja lukumäärän. Mitä isompi maalämpöpumpun COP-arvo on, sitä enemmän energiaa otetaan kaivosta, mikä taas kasvattaa kaivon syvyyttä. Tyypillisesti yhden kaivon syvyys on 120–300 metriä. Porareikien halkaisijat vaihtelevat Suomessa 105 ja 165 mm:n välillä. (8, s. 33.) Taulukosta 2 voidaan lukea että porareiän halkaisijalla ei ole lämmönsiirron kannalta huomattava eroa GTK:n kenttämittauksissa, vaikka mallinnusohjelmissa ja laskukaavoissa porareiän halkaisijan muutoksella eroja saataisiin. (5, s. 11; 10, s. 56.)

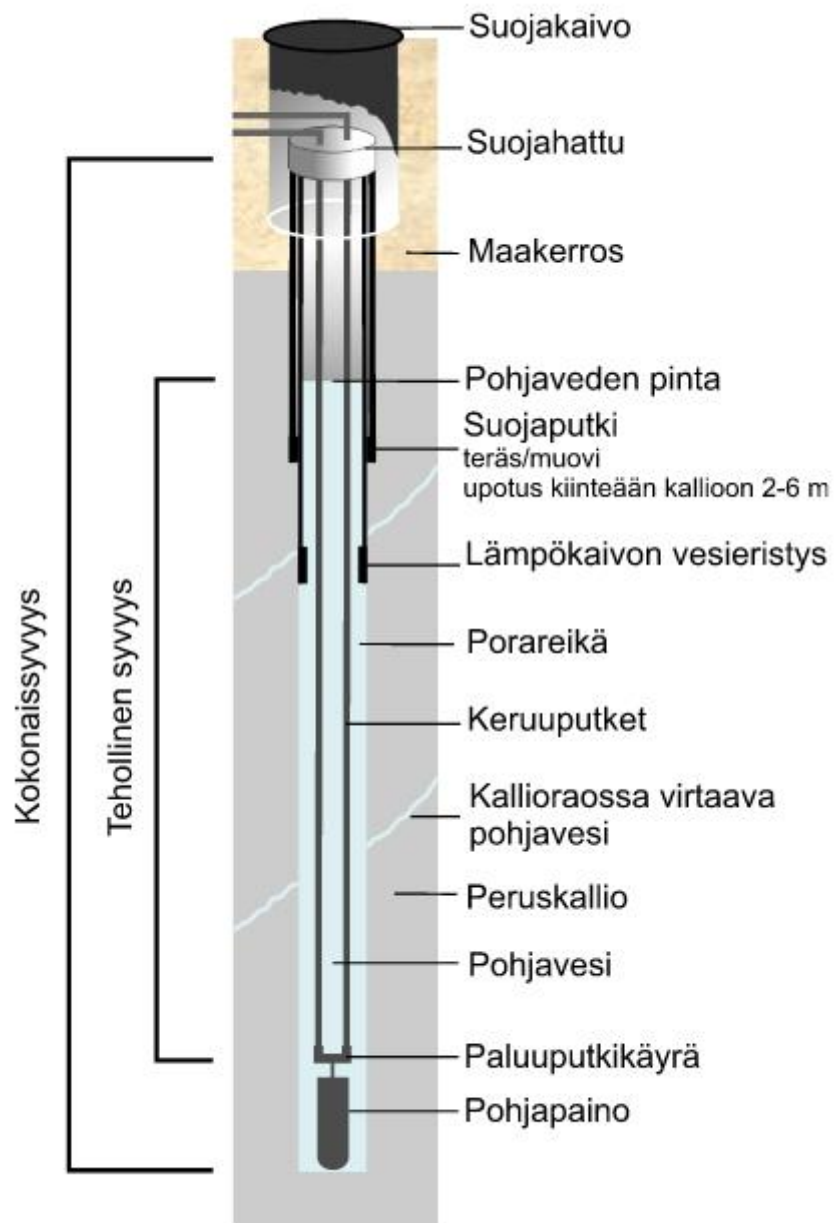
TAULUKKO 2. Kaivon halkaisijan merkitys teholliseen lämmönjohtavuuteen ja lämpövastukseen (10, s. 56)

	1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus
Mittausajankohta	07/2010	10/2010	03/2011
Kaivon halkaisija [mm]	115	139,7	139,7
Käytettiinkö erottimia	ei	ei	kyllä
Tehollinen lämmönjohtavuus [W/(m·K)]	3,5	3,5	3,3*
Lämpövastus [K/(W/m)]	0,10	0,10	0,09

\* Keskimäärin 3,3 W/(m·K), vaihteluväli ~3,2 - 3,5 W/(m·K)

Kaivon on oltava tiivis. Maaosuudelle, eli kaivon yläosaan asennetaan suoja-putki, joka estää maa-aineksen pääsyn kallioon porattuun reikään ja pohjave-teen. Suojaputki upotetaan kiinteään kallioon 2–6 metriä, sen mukaan kuinka rosoinen kallio on. Suojaputken lisäksi kaivo vesieristetään esimerkiksi muovi-putkella 6 m (pohjavesialueella kallioon asti) maanpinnalta niin, etteivät hulevesi ja kuivatusvedet pääse kaivoon. (9, s. 33.)

Yleensä kaivo täyttyy itsekseen pohjavedellä. Jos kaivo ei täyty itsekseen, voi- daan se täyttää. Silloin täytyy seurata, mille tasolle kaivon pinta asettuu. Ve- denpinnan alapuolelle jäävä osuus on niin sanottu aktiivisyvyys tai tehollinen syvyys (kuva 5). Jos kaivon yläosa kalliossa jää kuivaksi, voidaan se täyttää keruuputken asennuksen jälkeen esimerkiksi bentoniitilla, jolla saadaan paran- nettua lämmönsiirtoa kallion ja keruunesteen välillä. Lämmönkeruuputkistona käytetään yleensä PEM-40 PN6 putkea, mutta myös muita putkia voidaan käyt- tää. Keruuputkisto ja lämmönkeruuneste ovat vettä kevyempiä, joten putkisto täytyy laskea kaivoon pohjapainon avulla. Lopuksi porareikä suojataan suojaha- tulla, jottei kaivoon pääse irtoainesta ja hulevettä. Kuvassa 5 on esitetty ener- giakaivon rakenne. (5, s. 10; 9, s. 33.)



KUVA 5. Energiakaivon rakenne (9, s. 35)

### Kaivosta saatava energia

Kaavalla 1 voidaan laskea yksinkertaistettuna kaivosta saatava jatkuva lämpöteho stationääritilassa (5, s. 13).

# KAAVA 1

$$Q = \frac{2\pi * \lambda * H * (T_0 - T_b)}{\ln(\frac{H}{d})}$$

$Q$  = lämpöteho [W] stationääritilassa

$\lambda$  = Kivilajin tehollinen lämmönjohtavuus [W/(mK)]

$H$  = kaivon syvyys

$D$  = kaivon halkaisija [M]

$T_0$  = kallion häiriintymätön lämpötila kaivon puolessavälissä [°C]

$T_b$  = kaivon seinämän alin sallittu lämpötila

Kaavaa 1 voidaan soveltaa myös jäähdytyskäyttöön (kaava 2).

# KAAVA 2

$$Q = \frac{2\pi * \lambda * H * (T_{max} - T_0)}{\ln(\frac{H}{d})}$$

$Q$  = kylmäteho [W] stationääritilassa

$\lambda$  = Kivilajin tehollinen lämmönjohtavuus [W/(mK)]

$H$  = kaivon syvyys

$D$  = kaivon halkaisija [M]

$T_{max}$  = kaivon seinämän ylin sallittu lämpötila [°C]

$T_0$  = kallion häiriintymätön lämpötila kaivon puolessavälissä [°C]

Esim. 200metrisestä kaivosta saadaan jatkuva kylmäteho, jos kivilajin lämmönjohtavuus on Suomen keskimääräinen 3,24 W/(mK). Kaivon halkaisija on 115 mm.

$$Q = \frac{2\pi * 3,24 \frac{W}{mK} * 200 m * (8 ^\circ C - 5 ^\circ C)}{\ln \frac{200m}{0,115m}} = 1\,637\, W$$

### 3 JÄÄHDYTYS

Nykyisten tiiviiden ja energiatehokkaiden asuntojen sisälämpötilat nousevat helposti korkeiksi. Yksi iso tekijä on nykyarkkitehtuuri, joka suosii isoja ikkunoita. Lisäksi taloissa on sähkölaitteita ja ihmisiä jotka tuottavat lämpöenergiaa sekä kosteutta ja ovat taloissa lämpökuormana. Mitä suuremmat ovat talon lämpökuormat, sitä aiemmin jäähdytyskausi alkaa. Lisäksi kaikkea auringon lämpöenergiaa ei voida pitää passiivisin keinoin talon ulkopuolella. (11, s. 68–70.)

Operatiivinen lämpötila on huonelämpötilan ja ympäröivien pintojen lämpötiloista riippuva suure ja kuvaa ihmisen kokemaa lämpötilaa paremmin kuin pelkkä ilman lämpötila. Suuret ikkunapinnat voivat nostaa kesähelteillä operatiivisen lämpötilan huomattavasti suuremmaksi kuin varsinainen huonelämpötila. (11, s. 68.) Operatiivinen lämpötila  $T_o$  voidaan laskea kaavalla 3 (3, s. 44).

KAAVA 3

$$T_o = aT_i + (1 - a)T_s$$

$a = 0,5$ , kun  $v < 0,2$ ;

$= 0,6$ , kun  $v = 0,2–0,6$  ja

$= 0,7$ , kun  $v = 0,6–1,0$

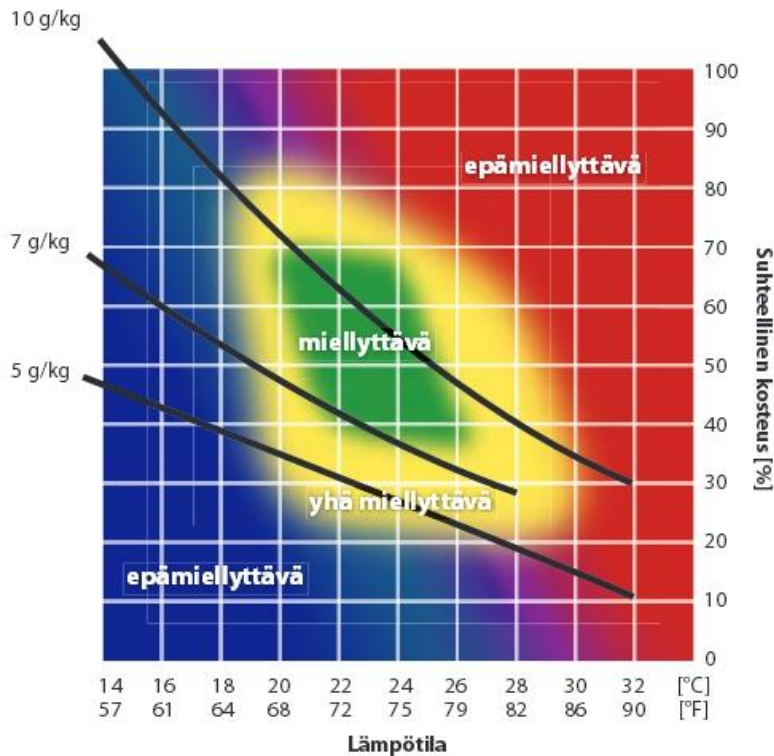
$v$  = ilman suhteellinen nopeus kehoon nähden [m/s]

$T_i$  = ilman lämpötila [°C]

$T_s$  = keskimääräinen säteilylämpötila [°C]

Miellyttävä sisälämpötila on henkilökohtainen kokemus, mutta yleisesti 22 °C on koettu hyväksi lähtökohdaksi. Kosteus vaikuttaa oleellisesti siihen, miten ihminen kokee korkean lämpötilan. Kosteuden poisto sisäilmasta saa aikaan sen, että lämpötila tuntuu viileämmältä ja miellyttävämmältä vaikka varsinainen lämpötila ei laskisi. (11, s. 68.)

Kuvasta 6 voidaan havaita että lämmin, mutta kuiva ilma tuntuu yhtä miellyttävältä kuin viileä ja kostea ilma. (11, s. 68.)



KUVA 6. Lämpötilan ja kosteuden vaikutus ihmisen tuntemukseen (11, s.62)

On energiatehokasta minimoida viilennysenergian tarve passiivisin keinoin. Yksi tärkeimmistä keinoista on estää auringon lämpösäteily tulemasta sisään. Ikku- noiden koolla voidaan rajoittaa merkittävästi auringon säteilyä sisään. Muita keinoja ovat sälekaihtimet, markiisit, varjostavat puut ja ulkopuoliset säleraken- teet. (11, s. 70.)

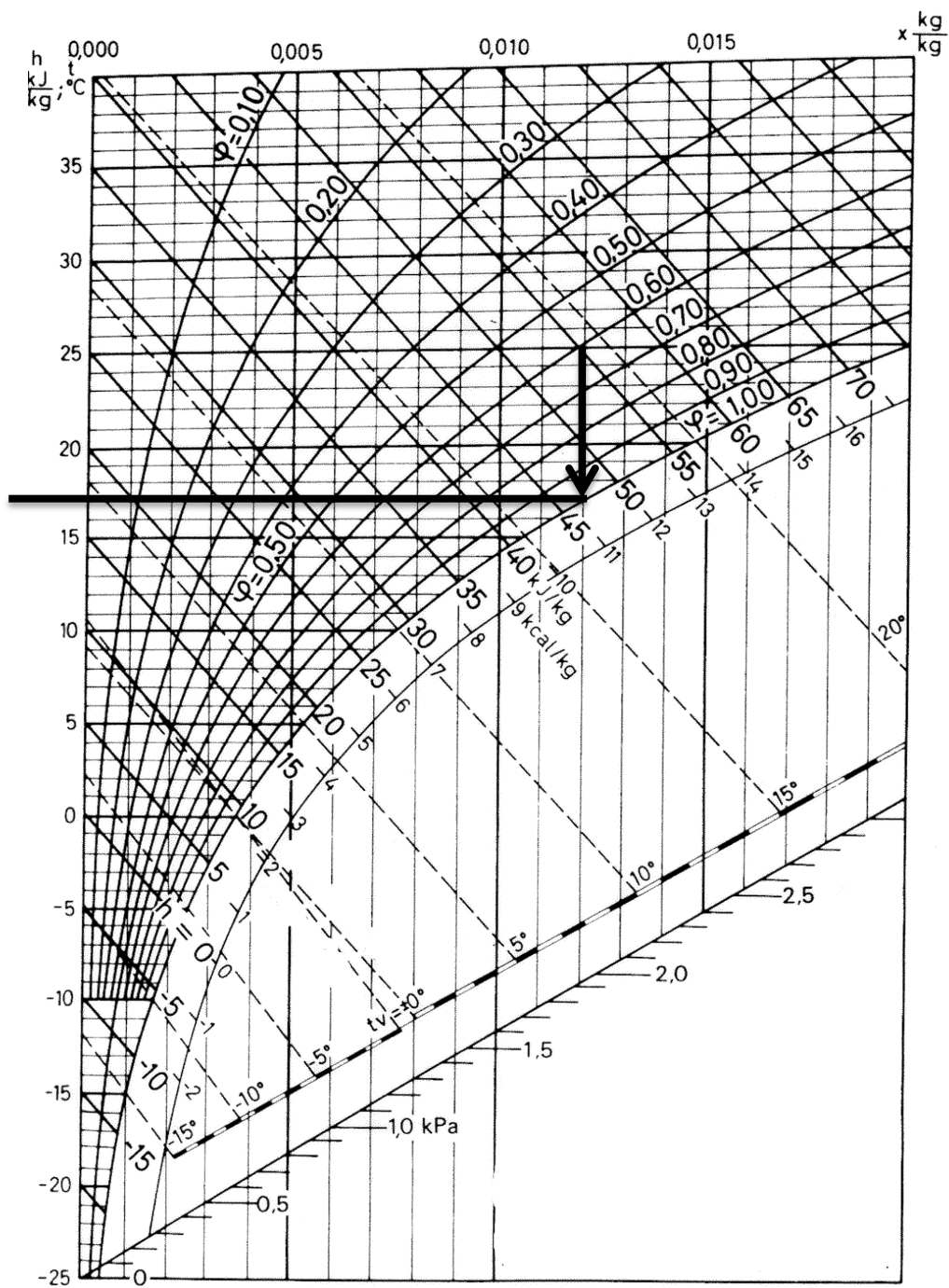
### 3.1 Jäähdytystehontarve

Nykyisin paras tapa määrittää jäähdytystehontarve on laskea se siihen tarkoite- tuilla ohjelmistoilla, jotka laskevat huonelämpötilan ja jäähdytystehontarpeen dynaamisella laskentamenetelmällä. Käytännössä nykyiset energiamääräykset vaativat dynaamisen huonelämpötilan tarkastelun kaikkiin muihin paitsi pienta- loihin. Pientalojen jäähdytystehontarve voidaan arvioida kun tiedetään sisäiset lämpökuormat eli ihmiset, laitteet ja valaistus sekä ulkoiset ikkunoista sisälle tulevat lämpökuormat.



### 3.2 Tuloilman jäähdytys

Asunnon tuloilmaa voidaan jäähdyttää tuloilmakanavaan tai ilmanvaihtokoneeseen asennettavalla jäähdytyspatterilla, jossa kiertää lämmönkeruupiirin neste. Koska usein asunnoissa ilmavirrat ovat pienet ja tuloilman lämpötilaa ei voida laskea kovin matalaksi, etteivät päätelaitteet ala kondensoimaan, ei tuntuvaa jäähdytystehoa saada juuri aikaiseksi. Kuvasta 7 voidaan lukea, että jos oletetaan sisäolosuhteet samaksi kuin ulko-olosuhteet mitoitusilanteessa, 25 °C 55 kJ/kg, päätelaitteet alkavat kondensoimaan kun tuloilman lämpötila laskee alle 17 °C:n (12, s. 6). Tällainen jäähdytysratkaisu usein pelkästään hidastaa asunnon lämpenemistä. Jäähdytystä merkittävämpi etu on tuloilman kuivaaminen, mikä tekee sisäilman miellyttävämmäksi (13, s. 242). Etuna on se, että viilenettyä ja kuivattua ilmaa tuodaan juuri sinne, missä oleskellaan eli olohuoneeseen ja makuuhuoneisiin.



KUVA 7. Kastepisteen merkitys sisään puhallettavan ilmanlämpötilaan (14)

Kun halutaan enemmän tuntuva jäähdytysteho, on yksi ratkaisu järjestää jäähdytys puhallinkonvektoreilla (13, s. 242).

### 3.3 Puhallinkonvektori

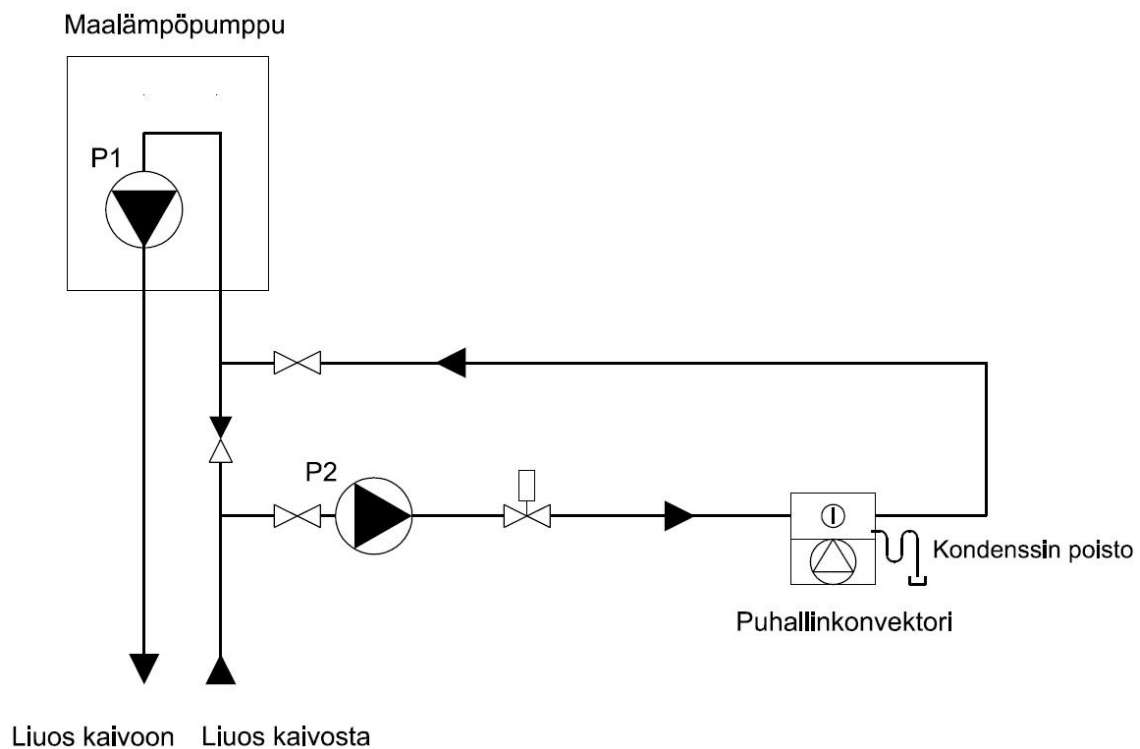
Puhallinkonvektori on ilmastointilaite, jolla voidaan jäähdyttää ja mahdollisesti lämmittää huoneilmaa. Maalämpökohteissa omakotitaloissa konvektorit asennetaan käytännössä aina pelkästään viilennyskäyttöön, koska kaivossa kiertävä neste on talvella kylmää ja kesällä viileää. Puhallinkonvektorissa on lamellipatteri, jonka läpi puhallin kierrättää huoneilmaa ja patterin nestepuolella kiertää lämmönkeruuneste. Viilennystehoa säädetään liuosvirtaamaa tai puhallinnopeutta muuttamalla huonelämpötilan mukaan. Laitteet on varustettu kierrätysilman suodattimilla. Käyttäjä säättää huonelämpötilaa säätöyksikön avulla. Myös puhaltimen nopeutta voidaan säätää, jolloin huonelämpötilan muutokseen saadaan nopeampi vaikutus. Yleensä puhaltimen pyörimisnopeuksia on kolme. (3, s.137.)

Konvektorille menevän nesteen lämpötila on yleensä huoneilman kastepisteen alapuolella, minkä vuoksi konvektorit varustetaan kondenssikaukalolla. Kondenssikaukaloista vesi johdetaan viemäripisteisiin joko painovoimaisesti tai pumppaamalla. (3, s. 281.)

### 3.3.1 Kytöntä vaihtoehtoja

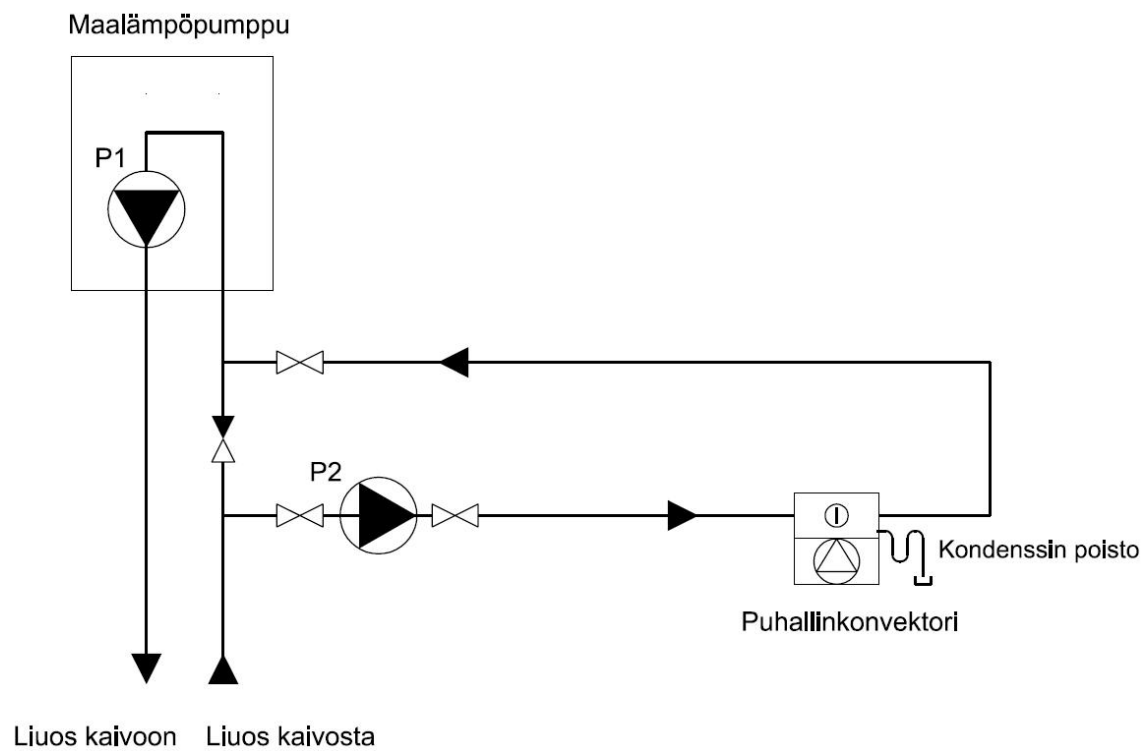
Kytkennoilla joissa haarat on otettu maalämpöpumpulle menevästä putkesta, saadaan lämpöpumpun lämpökerrointa kasvatettua, jos maalämpöpumppu tekee käyttövetä jäähdytyksen kanssa yhtä aikaa.

Kuvassa 8 on magneettiventtiilikytkentä. Konvektorin haarat on otettu maalämpöpumpulle menevästä putkesta. Pumppu 2 käynnistyy ja magneettiventtiili avautuu silloin, kun on viillennystarvetta. Liuoslämpötilaan ei voida vaikuttaa. Konvektorin tehoa voidaan muuttaa konvektorin puhallinnopeutta muuttamalla. Kytkenä on yksinkertainen.



KUVA 8. Esimerkkikytkentä 1

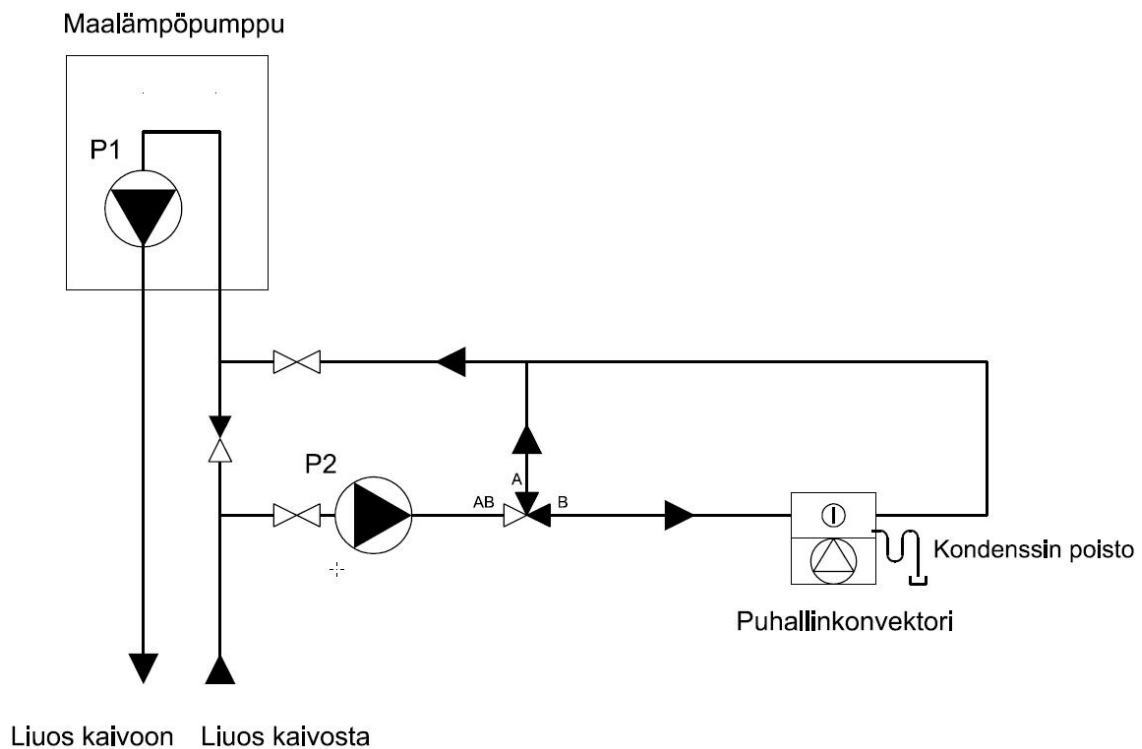
Edellisestä kytkennästä saadaan vielä yksinkertaisempi vaihtamalla magneetti-venttiili pelkkään sulkuventtiiliin (kuva 9). Vaikka sulkuventtiili olisi auki aina, ei siellä käytännössä virtaa mitään, jos P2 ei käy, koska konvektorissa ja sille menevissä putkissa on suuret painehäviöt. Sulkuventtiilit voi kuitenkin varmuuden vuoksi sulkea talveksi.



*KUVA 9. Esimerkkikytkentä 2*

Kuvassa 10 on kolmitieventtiilikytkentä. Konvektorin haarat on otettu maalämpöpumpulle menevästä putkesta. Pumppu 2 voi käydä jatkuvasti. Liuoslämpötilaan ei voida vaikuttaa. Konvektorin tehoa voidaan muuttaa konvektorin puhallinnopeutta ja liuosvirtaamaa muuttamalla. Kolmitieventtiili on asennossa A kun viilennystarvetta ei ole ja asennossa A–B konvektorin käytessä.

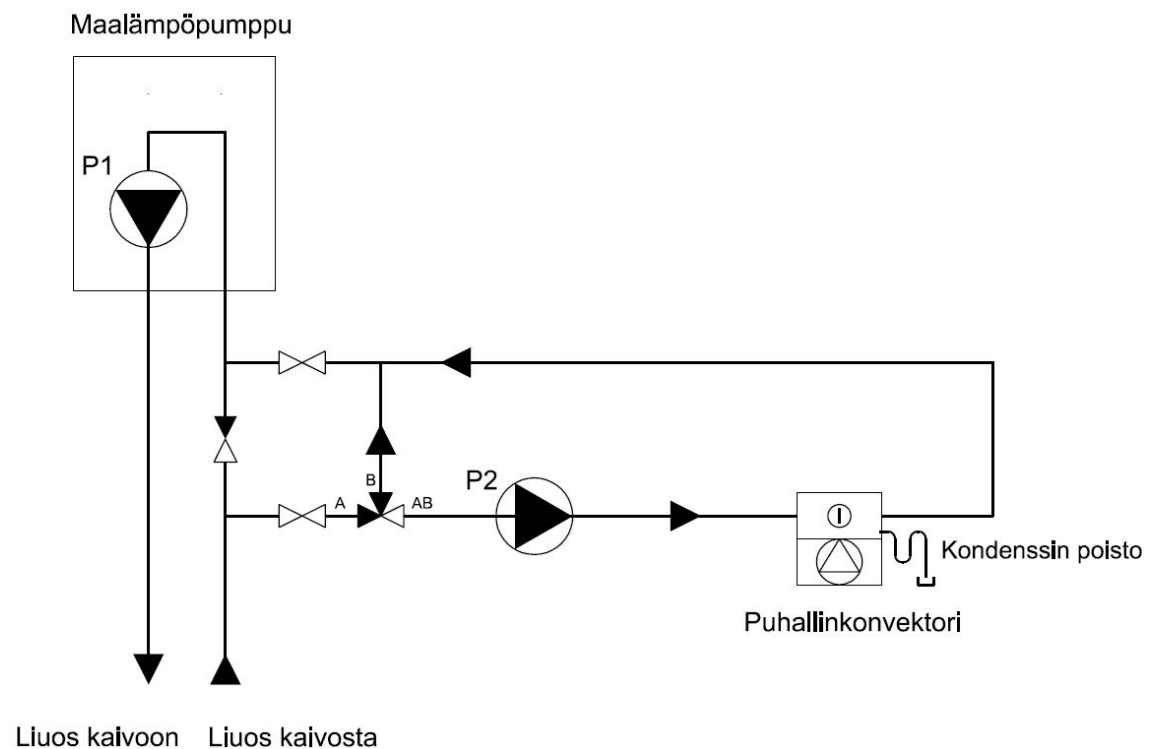
Konvektorit vaativat yleensä ison virtauksen nestepuolella, joten liuosvirtaamaa ei ole mahdollista shuntata.



*KUVA 10. Esimerkkikytkentä 3*

Kuvassa 11 on kolmitieventtiilikytkentä. Konvektorin haarat on otettu maalämpöpumpulle menevästä putkesta. Pumppu 2 voi käydä jatkuvasti. Liuoslämpötilaan voidaan vaikuttaa kolmitieventtiilin asentoa muuttamalla. Konvektorin tehoa voidaan muuttaa konvektorin puhallinnopeutta ja liuoksen lämpötilaa muuttamalla. Konvektorin läpi virtaava liuosvirtaama on vakio.

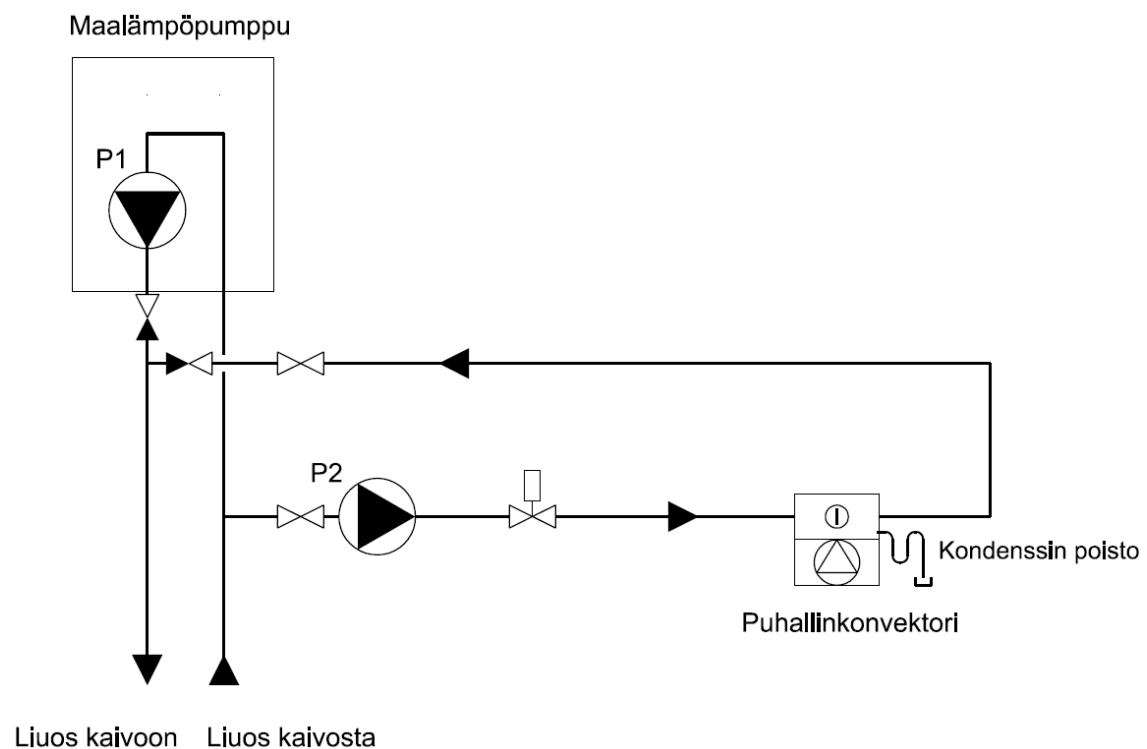
Porakaivolta tuleva nesteen lämpötila on yleensä käyttökelpoista semmoiseen, eikä sitä ole kustannustehokasta alkaa shunttaamaan.



KUVA 11. Esimerkkikytkentä 4

Kuvassa 12 on magneettiventtiilikytkentä. Pumppu 2 käynnistyy ja magneettiventtiili avautuu silloin, kun on viilennystarvetta. Liuoslämpötilaan ei voida vaikuttaa. Konvektorin tehoa voidaan muuttaa konvektorin puhallinnopeutta muuttamalla.

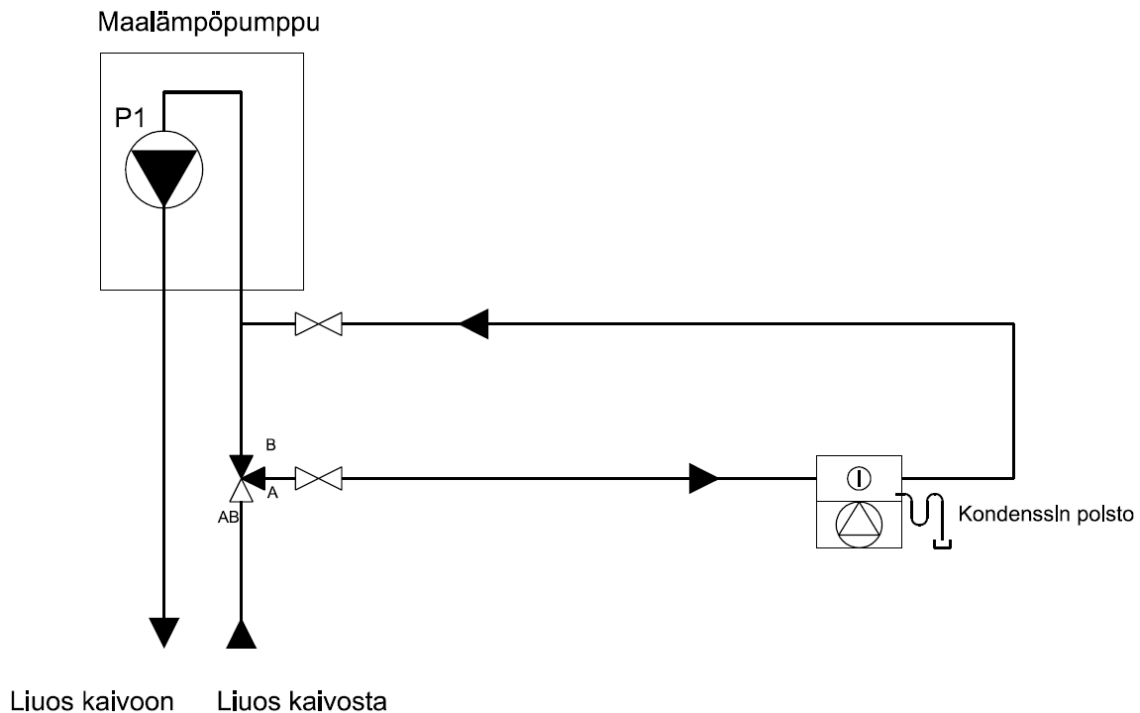
Maalämpöpumpun sisäiset virtausvastukset jäävät kokonaan pois, koska neste ohittaa maalämpöpumpun. Jos P1 ja P2 käy yhtä aikaa, lakkaa konvektorista kierto. Kytkentä on yksinkertainen. Tässä kytkennässä magneettiventtiili voidaan korvata sulkuventtiilillä.



**KUVA 12. Esimerkkikytkentä 5**



Kuvassa 13 on kolmitieventtiili keruupiirin putkessa. P1 hoitaa yksinään jäähdytyksen ja lämmityksen. Kolmitieventtiilin asennon määrää joko jäähdytyksen tarve, tai lämmityksen tarve. Riskinä on 3-tieventtiiliin rikkoontumisen/jumiutuminen, jolloin talon lämmitys voi keskeytyä.



KUVA 13. Esimerkki kytkentä 6

### 3.3.2 Painehäviöiden laskenta

Liuospumpun mitoittamiseen täytyy tietää putkiston painehäviöt. Jos P1 ohjelmoidaan käymään aina kun on jäähdytystarvetta, P2:n täytyy kyetä kierrättämään liuosta konvektorin ja keruuputkien välillä. Jos P2 käy yksinään, täytyy sen konvektorin putkien lisäksi myös pystyä voittamaan keruuputken painehäviöt. Jos P1 kierrättää yksinään liuosta, täytyy tarkastella, että keruuputkessa oleva virtaus on turbulenttista, jotta lämmön siirtyminen olisi tehokkaampaa (16). Työtä tehtäessä huomattiin, että virtaus jää helposti laminaariseksi porakaivos- sa, joten jos lämmönkeruunesteen lämpötila nousee korkeaksi kesällä, on yksi mahdollinen ratkaisu kytkeä P1 käynnistymään P2:n kanssa yhtä aikaa. Kaikissa kytkentäesimerkeissä tämä ei ole mahdollista.

Opinnäytetyössä tehtiin yksinkertainen ja helppokäyttöinen Excel-painehäviölaskuri vesi-etanoliliuokselle (kuva 14). Laskuri noudattaa kaavoja 4–15. Kertavastuksina laskuri huomioi 90°:n kulmat.

### 3.3.3 Painehäviö kaavat

Painehäviöiden laskentaan tarvittava putkessa virtaava jäähdytysteho  $\dot{Q}_{\text{kok}}$  voidaan laskea kaavalla 4 (15, s. 31).

KAAVA 4

$$\dot{Q}_{\text{kok}} = q_m * c_p * \Delta T_{\text{liuos}}$$

$\dot{Q}_{\text{kok}}$  = putkessa virtaava kokonaisteho

$q_m$  = liuoksen massavirta [kg/s]

$c_p$  = liuoksen ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

$\Delta T$  = liuoksen paluu- ja menolämpötilojen erotus [K]

Kaavassa 4 esiintyvä massavirta voidaan laskea kaavalla 5 (15, s. 31).

KAAVA 5

$$q_m = \rho q_v = \rho v A_{\text{sis}} = \frac{\rho v d_{\text{sis}}^2}{4}$$

$\rho$  = liuoksen tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$q_v$  = liuoksen tilavuusvirta [m<sup>3</sup>/s]

$v$  = liuoksen virtausnopeus [m/s]

$A_{\text{sis}}$  = putken sisä poikkipinta-ala [m<sup>2</sup>]

$d_{\text{sis}}$  = putken sisähalkaisija [m]

Suoran putkiosuuden painehäviö voidaan laskea kaavalla 6 (16).

KAAVA 6

$$\Delta p_p = RL$$

$\Delta p_p$  = putken painehäviö [pa]

$L$  = putken pituus [m]

$R$  = virtausvastus [pa/m]

Virtausvastus  $R$  lasketaan kaavalla 7 (16).

KAAVA 7

$$R = \frac{\lambda}{d_{sis}} * p_{dyn}$$

$d_{sis}$  = putken sisähalkaisija [m]

$p_{dyn}$  = dynaaminen paine [pa]

$\lambda$  = virtauksen kitkakerroin

Dynaaminen paine lasketaan kaavalla 8 (16).

KAAVA 8

$$p_{dyn} = 0,5\rho v^2$$

Virtauksen kitkakerroin lasketaan kaavalla 9, 10 tai 11 (15, s. 31; 16).

KAAVA 9

$$\lambda = \frac{64}{Re} \text{ jos } Re < 2300$$

KAAVA 10

$$\lambda = [1,84 \log(Re) - 1,64]^{-2} \text{ jos } Re > 2300$$

KAAVA 11

$$\lambda = \frac{1}{4} * \left[ \lg \left( \frac{\epsilon}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} \text{ jos } Re > 2300$$

$Re$  = reynoldsin luku

Reynoldsin luku lasketaan kaavalla 12 (15, s. 31).

KAAVA 12

$$Re = \frac{vd_{sis}}{\nu} = \frac{vd_{sis}\rho}{\mu} = \frac{4q_m}{\pi d_{sis}\mu}$$

$\nu$  = liuoksen kinemaattinen viskositeetti [m<sup>2</sup>/s]

$\mu$  = liuoksen dynaaminen viskositeetti [Pas]

$\varepsilon$  = putken suhteellinen karheus

Putken suhteellinen karheus lasketaan kaavalla 13 (16).

KAAVA 13

$$\epsilon = \frac{k}{d_s}$$

$k$  = putken karheusluku [mm]

$d_s$  = putken sisähalkaisija [mm]

Putkiosien (kulmat, käyrät, T-haarat) muodostama painehäviö lasketaan kaavalla 14 (16).

KAAVA 14

$$\Delta p_o = \Sigma \zeta p_{dyn}$$

$\Delta p_o$  = putkiosien aiheuttama painehäviö [pa]

$\Sigma \zeta$  = kertavastuslukujen summa

Putkiston kokonaispainehäviö lasketaan kaavalla 15 (16).

KAAVA 15

$$\Delta p_{kok} = \Delta p_p + \Delta p_o$$

$\Delta p_{kok}$  = putkiston kokonaispainehäviö [pa]

Vesi-etanoli seoksen aineominaisuudet on esitetty liitteessä 1 (15, s. 142–143).

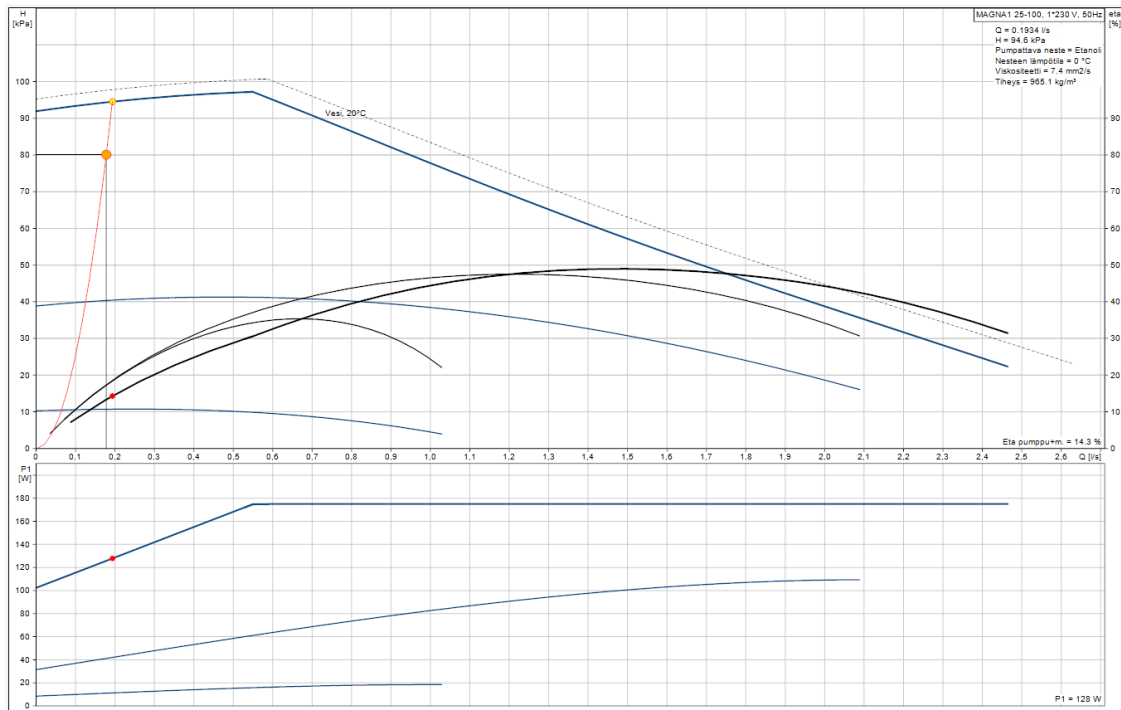
Työssä mitoitettiin pumppu painehäviölaskurilla. Kuvassa 14 on kuvakaappaus mitoituksesta ja mitoitusohjelmasta. Lähtötiedot ovat seuraavat:

Konvektori on Amena WX13MPVH-CWA. Konvektorin mitoitusvirtaama on 0,178 l/s. Putkena on 18 mm:n PEX-putkea yhteensä 15 m. 90°:n kulmia on 10 kpl.

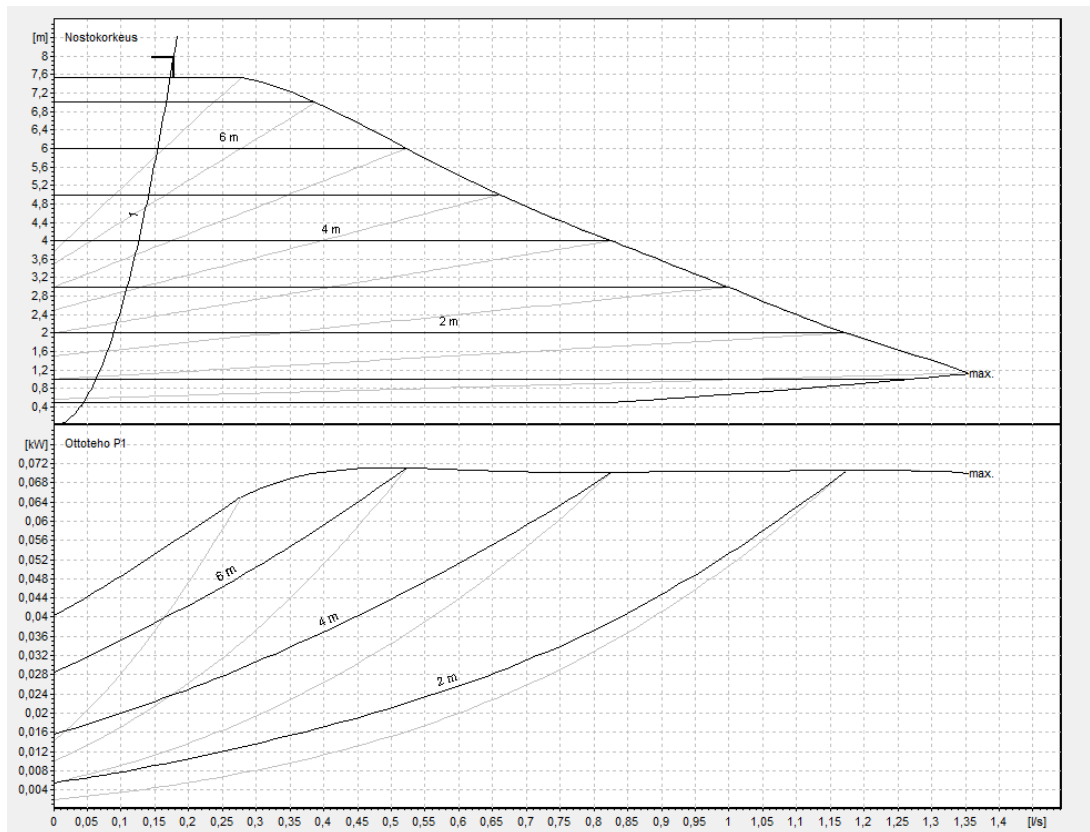
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	Konvektori	Teho	Tin	Tka	Tout	Qv	Putkimateriaali	Putkikoko	Pituus yht	90° kulmat	Etanoli til %
3		[kW]	°C		°C	[l/s]			[m]	[kpl]	
4	WX13MPVH-CWA	3,68	7	9,5	12	0,178	Muovi	18	15	10	30 %
5						[l/h]					
6	Amena 10					640	Komposiitti	15			
7							Muovi	18			
8	Amena 13						Kupari	22			
9								25			
10	Amena 18							28			
11								32			
12								40			
13	Amena 13 katto										
14	Amena 18 katto										
15											
16	Carrier 42GWC004										
17											
18	Carrier 42GWC008										
19											
20	Carrier 42GWC010										
21											
22											
23											
24											
25											

KUVA 14. Painehäviölaskuri

Kyseiseen kohteeseen kävisi pumpuksi esimerkiksi Grundfosin Magna1 25-100 (kuva 15) tai Wilon Yonos Pico 25/1-8 (kuva 16). Wilon pumpussa nostokorkeus jää 75 kPa:iin, joten virtaus putkessa hieman laskee ja konvektorista saatava teho pienenee 0,14 kW.



KUVA 15. GRUNDFOS MAGNA1 25-100 pumpun pumppukäyrä (17)



KUVA 16. Wilo Yonos PICO 25/1-8 pumpun pumppukäyrä (18)

## 4 ESIMERKKIKOhteet

### 4.1 Jäähdytystehontarpeet

Työhön valittiin 3 omakotitaloa, joiden jäähdytystehontarve määriteltiin Helsinkiin ja Ouluun Riuska-laskentaohjelmalla TRY2012-testivuoden mukaan. Testivuosi 2012 on koottu Vantaalle, Jyväskylään ja Sodankylään vuosina 1980 – 2009 mitattujen säähavaintojen perusteella kyseisten alueiden säävyöhykkeiltä. Testivuosi 2012 kuvaa nykyilmaston keskimääräistä tilaa. Mitattuja asioita ovat lämpötila, ilman kosteus, auringon säteily ja tuulen nopeus. (19, s. 3, 6.)

Valituissa taloissa tarkasteltiin, miten paikkakunta, sälekaihtimet ikkunan välissä ja rakennuksen massiivisuus vaikuttavat jäähdytystehontarpeeseen ja jäähdytysenergiaan. Lisäksi tarkasteltiin, mihin olohuoneen sisälämpötila nousee, jos jäähdytystä ei olisi. Tarkasteluissa valittiin rakennusten sisälämpötiloiksi 25 °C. Rakennuksen sisäisinä lämpökuormina ja käyttöasteina käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D3:n mukaisia asuinrakennuksen standardikäytön mukaisia arvoja. Ilmavirtoina on käytetty D3:n arvoja, mutta kohde C:ssä on jouduttu nostamaan tarvittavaa ilmavirtaa, jotta saavutettiin haluttu sisälämpötila.

Jokaisesta talosta on työhön valittu 4 tapaus. Tapaukset on esitetty taulukossa 3.

*TAULUKKO 3. Laskentatapaukset*

	Sijainti	Kaihtimet	Rakennus materiaali
<b>Tapaus 1</b>	Helsinki	Ei	Puu
<b>Tapaus 2</b>	Helsinki	On	Puu
<b>Tapaus 3</b>	Oulu	Ei	Puu
<b>Tapaus 4</b>	Oulu	On	Puu

Rakennusten U-arvoina on käytetty taulukon 4 mukaisia arvoja.



TAULUKKO 4. Rakennusten U-arvot

Ulkoseinä	Ovet	Ikkunat	Yläpohja	Alapohja
[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
0,16	1	1	0,08	0,14

#### 4.1.1 Talo A

Talo A on normaali 1-kerroksinen talo, jossa suurin osa olohuoneen ikkunapinta-alasta suuntautuu lounaaseen (kuva 17).



KUVA 17. Talo A:n julkisivu lounaasta

Taulukossa 5 on esitetty talon tiedot.

TAULUKKO 5. Talo A:n tiedot

Rakennuksen pinta-ala	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ikkuna pinta-ala	Ikkuna pinta-ala olohuoneessa	Tuloilmavirta
m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup> /s
120	323	22,89	5,46	48

Tapaus 1. Talo A sijaitsee Helsingissä, ikkunoissa ei ole kaihtimia ja talo on puurakenteinen. Taulukoissa 6, 8,10 ja 12 on esitetty suunnittelupäivän tulokset ja taulukoissa 7, 9,11 ja 13 kuukausittaiset tulokset.

**TAULUKKO 6. Tapauksen 1 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

**Data:**

**Design day hourly cooling capacity**

	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,208	0,208
2	0,000	0,095	0,095
3	0,000	0,018	0,018
4	0,000	0,006	0,006
5	0,000	0,005	0,005
6	0,000	0,484	0,484
7	0,000	0,779	0,779
8	0,000	0,935	0,935
9	0,000	0,990	0,990
10	0,000	0,894	0,894
11	0,000	1,041	1,041
12	0,000	1,467	1,467
13	0,000	2,064	2,064
14	0,000	2,640	2,640
15	0,000	3,071	3,071
16	0,000	3,312	3,312
17	0,000	3,327	<b>3,327</b>
18	0,000	3,175	3,175
19	0,000	2,699	2,699
20	0,000	2,029	2,029
21	0,000	1,358	1,358
22	0,000	0,905	0,905
23	0,000	0,621	0,621
24	0,000	0,392	0,392

32,52 kWh

**TAULUKKO 7. Tapauksen 1 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	234,36	2,824
Kesäkuu	332,58	2,902
Heinäkuu	544,06	<b>3,389</b>
Elokuu	294,59	3,289
	<b>1405,58 kWh</b>	

Tapaus 2. Talo A sijaitsee Helsingissä, ikkunoiden uloimmassa välissä on kaihtimet ja talo on puurakenteinen.

**TAULUKKO 8. Tapauksen 2 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

**Data:**  
**Design day hourly cooling capacity**

	AC-System	Space cooling	Total
<b>h</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>
1	0,000	0,012	0,012
2	0,000	0,009	0,009
3	0,000	0,008	0,008
4	0,000	0,006	0,006
5	0,000	0,005	0,005
6	0,000	0,004	0,004
7	0,000	0,136	0,136
8	0,000	0,229	0,229
9	0,000	0,243	0,243
10	0,000	0,204	0,204
11	0,000	0,239	0,239
12	0,000	0,287	0,287
13	0,000	0,871	0,871
14	0,000	1,224	1,224
15	0,000	1,475	1,475
16	0,000	1,618	1,618
17	0,000	1,627	<b>1,627</b>
18	0,000	1,567	1,567
19	0,000	1,363	1,363
20	0,000	1,032	1,032
21	0,000	0,674	0,674
22	0,000	0,400	0,400
23	0,000	0,200	0,200
24	0,000	0,059	0,059

13,49 kWh

**TAULUKKO 9. Tapauksen 2 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	26,46	1
Kesäkuu	46,64	1,092
Heinäkuu	139,93	<b>1,664</b>
Elokuu	80,90	1,634
	<b>293,93 kWh</b>	

Tapaus 3. Talo A sijaitsee Oulussa, ikkunoissa ei ole kaihtimia ja talo on puurakenteinen.

**TAULUKKO 10.** Tapauksen 3 suunnittelupäivän tuntiset tehot

Data:

Design day hourly cooling capacity

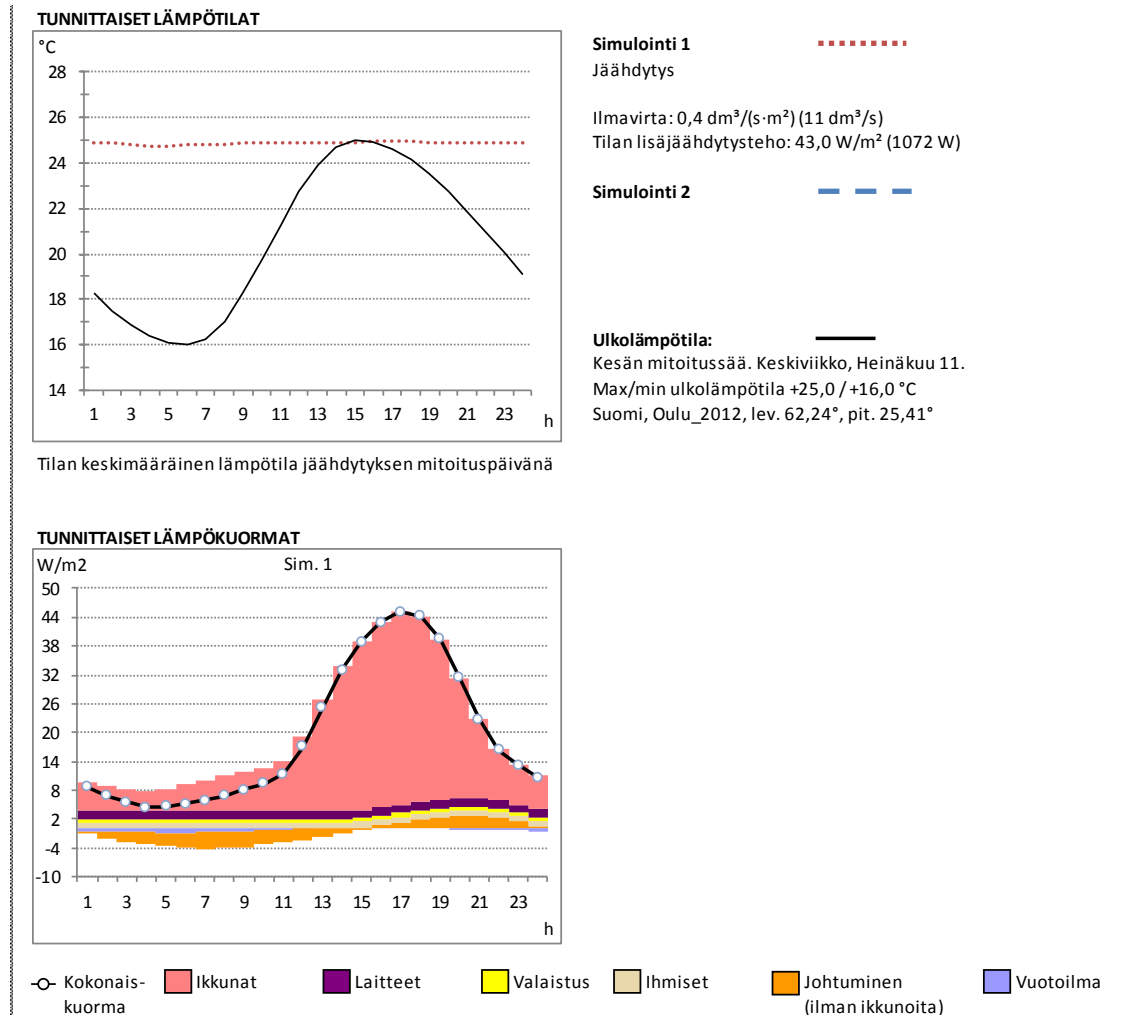
	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,274	0,274
2	0,000	0,148	0,148
3	0,000	0,055	0,055
4	0,000	0,021	0,021
5	0,000	0,016	0,016
6	0,000	0,578	0,578
7	0,000	0,867	0,867
8	0,000	1,021	1,021
9	0,000	1,017	1,017
10	0,000	0,933	0,933
11	0,000	1,100	1,100
12	0,000	1,562	1,562
13	0,000	2,153	2,153
14	0,000	2,665	2,665
15	0,000	3,034	3,034
16	0,000	3,223	3,223
17	0,000	3,229	<b>3,229</b>
18	0,000	3,073	3,073
19	0,000	2,635	2,635
20	0,000	2,037	2,037
21	0,000	1,445	1,445
22	0,000	1,008	1,008
23	0,000	0,737	0,737
24	0,000	0,477	0,477

33,31 kWh

**TAULUKKO 11.** Tapauksen 3 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	258,52	2,881
Kesäkuu	309,79	3,125
Heinäkuu	369,50	<b>3,203</b>
Elokuu	222,22	2,701
	<b>1160,03 kWh</b>	

Kuvasta 18 voidaan lukea, miten lämpökuormat jakautuvat. Ikkunoista sisään tuleva auringon säteily on suurin lämpökuorman aiheuttaja. Kyseessä on talo A, tapaus 3 ja olohuone.



*KUVA 18. Talo A:n olohuone. Talo sijaitsee Oulussa. Ikkunoissa ei ole kaihtimia. Olohuoneen lisjäähdytysteho on 43 w/m<sup>2</sup>*

Tapaus 4. Talo A sijaitsee Oulussa, ikkunoiden uloimmassa välissä on kaihtimet ja talo on puurakenteinen.

**TAULUKKO 12. Tapauksen 4 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

Design day hourly cooling capacity

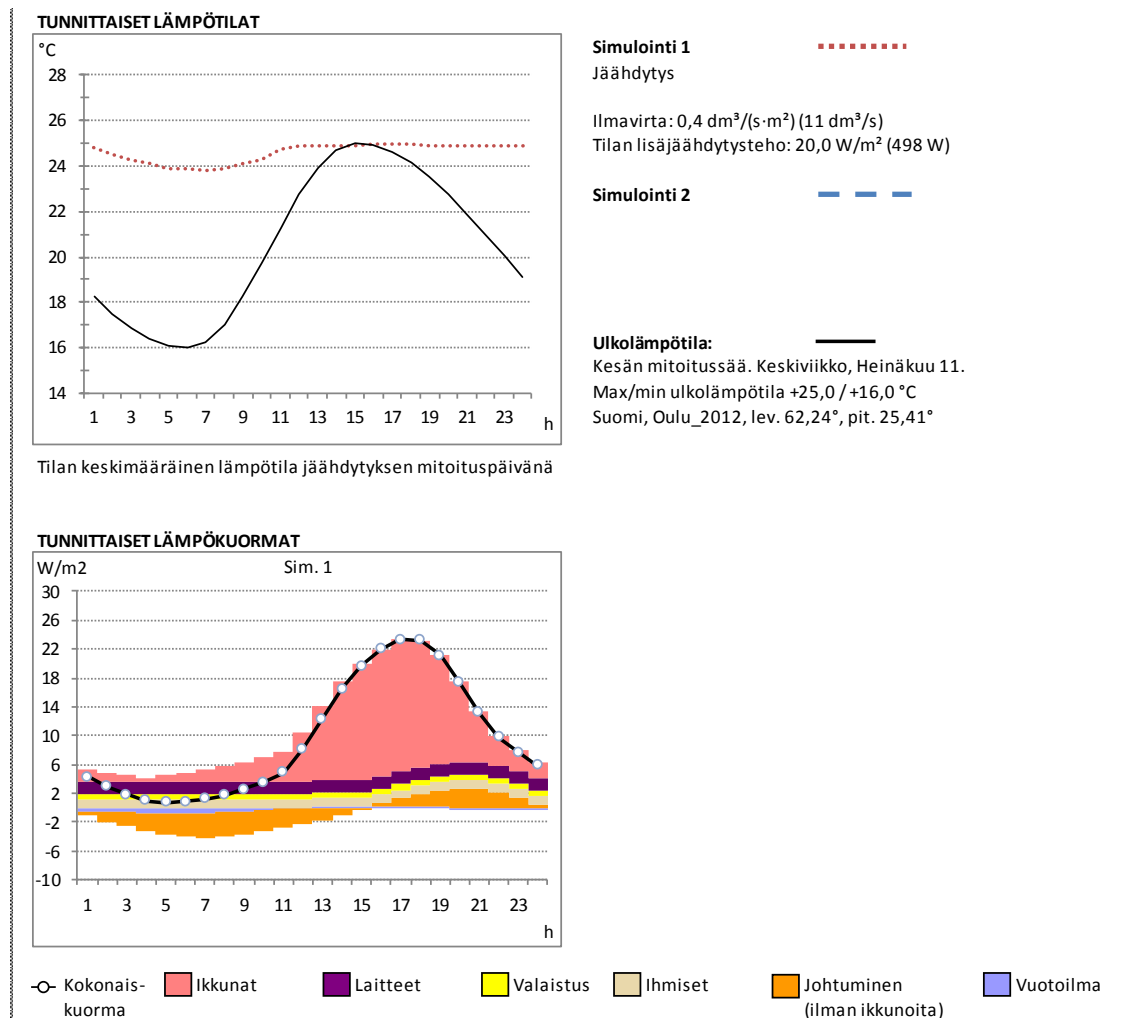
	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,012	0,012
2	0,000	0,009	0,009
3	0,000	0,008	0,008
4	0,000	0,006	0,006
5	0,000	0,005	0,005
6	0,000	0,004	0,004
7	0,000	0,207	0,207
8	0,000	0,241	0,241
9	0,000	0,251	0,251
10	0,000	0,206	0,206
11	0,000	0,247	0,247
12	0,000	0,294	0,294
13	0,000	0,933	0,933
14	0,000	1,281	1,281
15	0,000	1,524	1,524
16	0,000	1,652	<b>1,652</b>
17	0,000	1,652	<b>1,652</b>
18	0,000	1,587	1,587
19	0,000	1,378	1,378
20	0,000	1,051	1,051
21	0,000	0,704	0,704
22	0,000	0,420	0,420
23	0,000	0,216	0,216
24	0,000	0,068	0,068

13,96 kWh

**TAULUKKO 13. Tapauksen 4 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

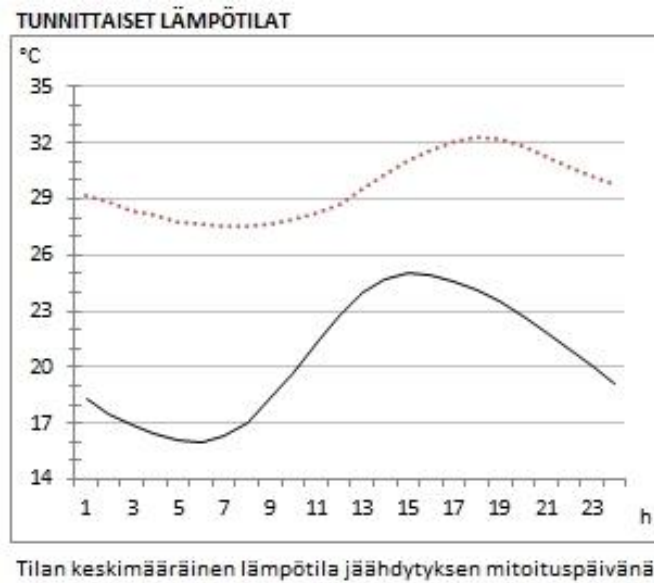
Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	32,60	1,096
Kesäkuu	67,99	1,454
Heinäkuu	78,78	<b>1,568</b>
Elokuu	39,18	1,136
	<b>218,54</b>	<b>kWh</b>

Kuvasta 19 voidaan lukea, miten lämpökuormat jakaantuvat. Tapaukseen 3 verrattuna (kaihtimet lisätty) olohuoneen jäähdytystehontarve on vähentynyt yli 50 %.



**KUVA 19.** Talo A:n olohuone. Talo sijaitsee Oulussa. Ikkunoihin on lisätty kaihtimet. Olohuoneen lisäjäähdytysteho on 20 w/m<sup>2</sup>

Jos talossa ei olisi jäähdytystä mutta kaihtimet on asennettu ikkunoihin, lämpötila kohoaisi mitoituspäivänä olohuoneessa kuvan 20 mukaan hieman yli 32 °C:seen.

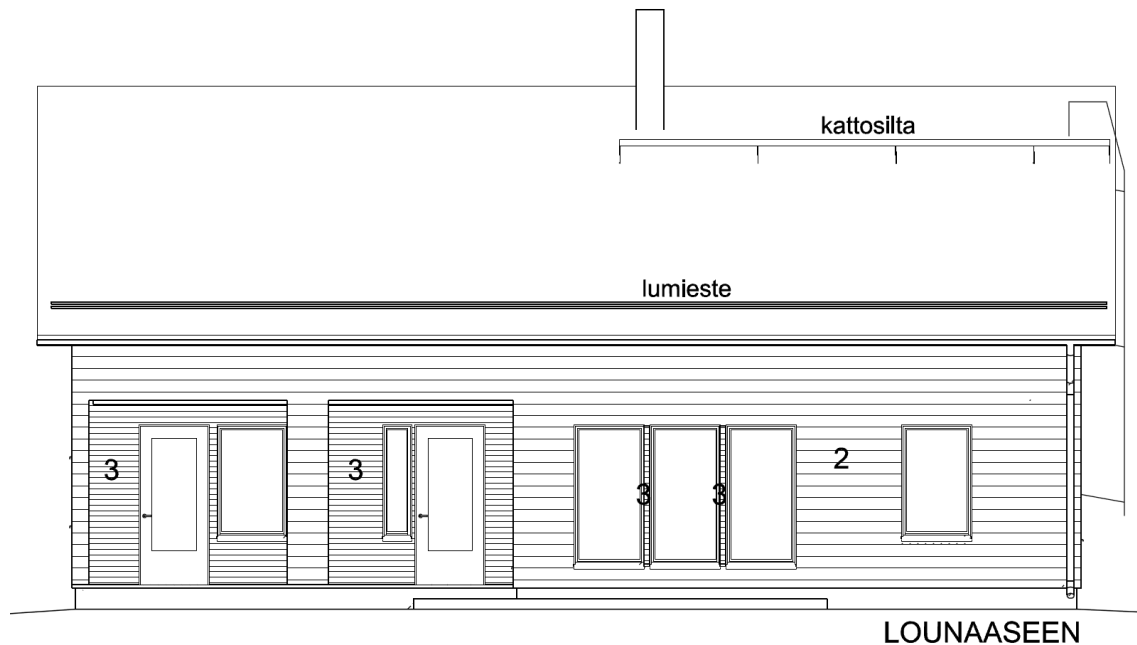


KUVA 20. Olohuoneen lämpötila mitoituspäivänä, jos jäähdytystä ei ole



#### 4.1.2 Talo B

Talo B on normaali 1,5-kerroksinen talo, jossa suurin osa olohuoneen ikkuna-pinta-alasta suuntautuu lounaaseen (kuva 21).



KUVA 21. Talo B:n julkisivu lounaasta päin

Taulukossa 14 on esitetty rakennuksen tietoja.

TAULUKKO 14. Talo B:n tiedot

Rakennuksen pinta-ala	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ikkuna pinta-ala	Ikkuna pinta-ala olohuoneessa	Tuloilmavirta
m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup> /s
196	490	26,08	6,8	79

Tapaus 1. Talo B sijaitsee Helsingissä, ikkunoissa ei ole kaihtimia ja talo on puurakenteinen. Taulukoissa 15, 17, 19 ja 21 on esitetty suunnittelupäivän tulokset ja taulukoissa 16, 18, 20 ja 22 kuukausittaiset tulokset.

**TAULUKKO 15. Tapauksen 1 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

**Data:**

**Design day hourly cooling capacity**

	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,770	0,770
2	0,000	0,537	0,537
3	0,000	0,388	0,388
4	0,000	0,299	0,299
5	0,000	0,285	0,285
6	0,000	0,616	0,616
7	0,000	1,215	1,215
8	0,000	1,652	1,652
9	0,000	2,076	2,076
10	0,000	2,362	2,362
11	0,000	2,652	2,652
12	0,000	3,059	3,059
13	0,000	3,522	3,522
14	0,000	3,887	3,887
15	0,000	4,143	4,143
16	0,000	4,375	4,375
17	0,000	4,546	4,546
18	0,000	4,627	<b>4,627</b>
19	0,000	4,323	4,323
20	0,000	3,703	3,703
21	0,000	2,788	2,788
22	0,000	2,014	2,014
23	0,000	1,507	1,507
24	0,000	1,092	1,092

56,44 kWh

**TAULUKKO 16. Tapauksen 1 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	540,96	3,821
Kesäkuu	759,94	4,268
Heinäkuu	1092,87	<b>4,847</b>
Elokuu	687,12	4,609
	<b>3080,88 kWh</b>	

Tapaus 2. Talo B sijaitsee Helsingissä, ikkunoiden uloimmassa välissä on kaihtimet ja talo on puurakenteinen.

**TAULUKKO 17. Tapauksen 2 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

Design day hourly cooling capacity

	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,572	0,572
2	0,000	0,455	0,455
3	0,000	0,359	0,359
4	0,000	0,294	0,294
5	0,000	0,267	0,267
6	0,000	0,280	0,280
7	0,000	0,488	0,488
8	0,000	0,687	0,687
9	0,000	0,956	0,956
10	0,000	1,147	1,147
11	0,000	1,354	1,354
12	0,000	1,515	1,515
13	0,000	1,961	1,961
14	0,000	2,250	2,250
15	0,000	2,480	2,480
16	0,000	2,652	2,652
17	0,000	2,749	2,749
18	0,000	2,808	<b>2,808</b>
19	0,000	2,669	2,669
20	0,000	2,363	2,363
21	0,000	1,874	1,874
22	0,000	1,402	1,402
23	0,000	1,038	1,038
24	0,000	0,747	0,747

33,37 kWh

**TAULUKKO 18. Tapauksen 2 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	240,79	1,781
Kesäkuu	356,78	2,115
Heinäkuu	553,13	<b>2,953</b>
Elokuu	381,54	2,748
	<b>1532,23 kWh</b>	

Tapaus 3. Talo B sijaitsee Oulussa, ikkunoissa ei ole kaihtimia ja talo on puura-kenteinen.

**TAULUKKO 19. Tapauksen 3 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

Design day hourly cooling capacity

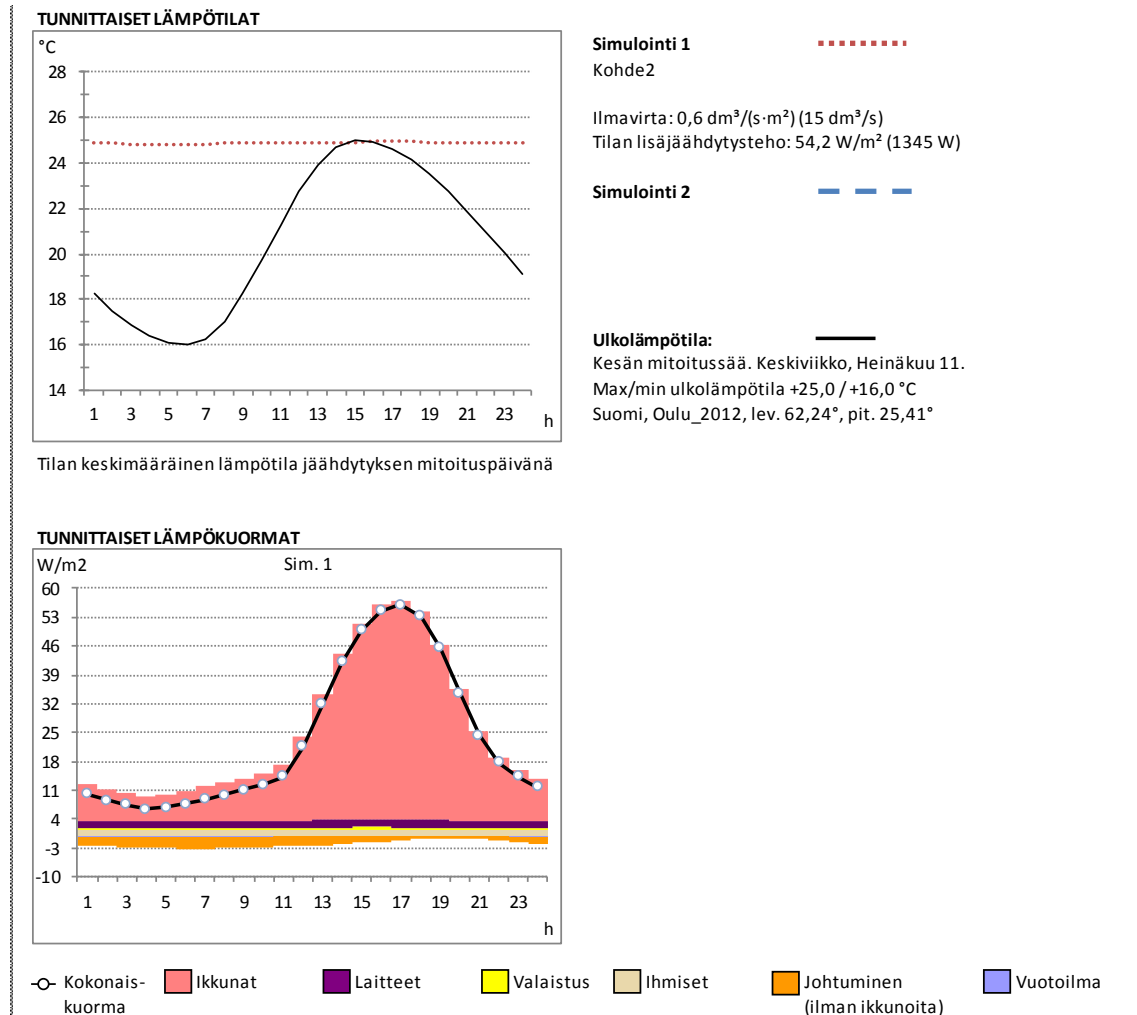
	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,825	0,825
2	0,000	0,580	0,580
3	0,000	0,413	0,413
4	0,000	0,304	0,304
5	0,000	0,305	0,305
6	0,000	0,709	0,709
7	0,000	1,327	1,327
8	0,000	1,795	1,795
9	0,000	2,160	2,160
10	0,000	2,409	2,409
11	0,000	2,695	2,695
12	0,000	3,094	3,094
13	0,000	3,623	3,623
14	0,000	3,995	3,995
15	0,000	4,235	4,235
16	0,000	4,407	4,407
17	0,000	4,555	4,555
18	0,000	4,628	<b>4,628</b>
19	0,000	4,360	4,360
20	0,000	3,838	3,838
21	0,000	2,973	2,973
22	0,000	2,141	2,141
23	0,000	1,598	1,598
24	0,000	1,162	1,162

58,13 kWh

**TAULUKKO 20. Tapauksen 3 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	591,31	3,984
Kesäkuu	723,36	4,64
Heinäkuu	831,63	<b>4,87</b>
Elokuu	530,21	3,967
	<b>2676,51 kWh</b>	

Kuvasta 22 voidaan lukea, miten lämpökuormat jakautuvat. Ikkunoista sisään tuleva auringon säteily on suurin lämpökuorman aiheuttaja. Kyseessä on talo B, tapaus 3 ja olohuone.



*KUVA 22. Talo B:n olohuone. Talo sijaitsee Oulussa. Ikkunoissa ei ole kaihtimia. Olohuoneen lisäjäähdytysteho on  $54,2 \text{ w/m}^2$*

Tapaus 4. Talo B sijaitsee Oulussa, ikkunoiden uloimmassa välissä on kaihtimet ja talo on puurakenteinen.

**TAULUKKO 21. Tapauksen 4 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

Design day hourly cooling capacity

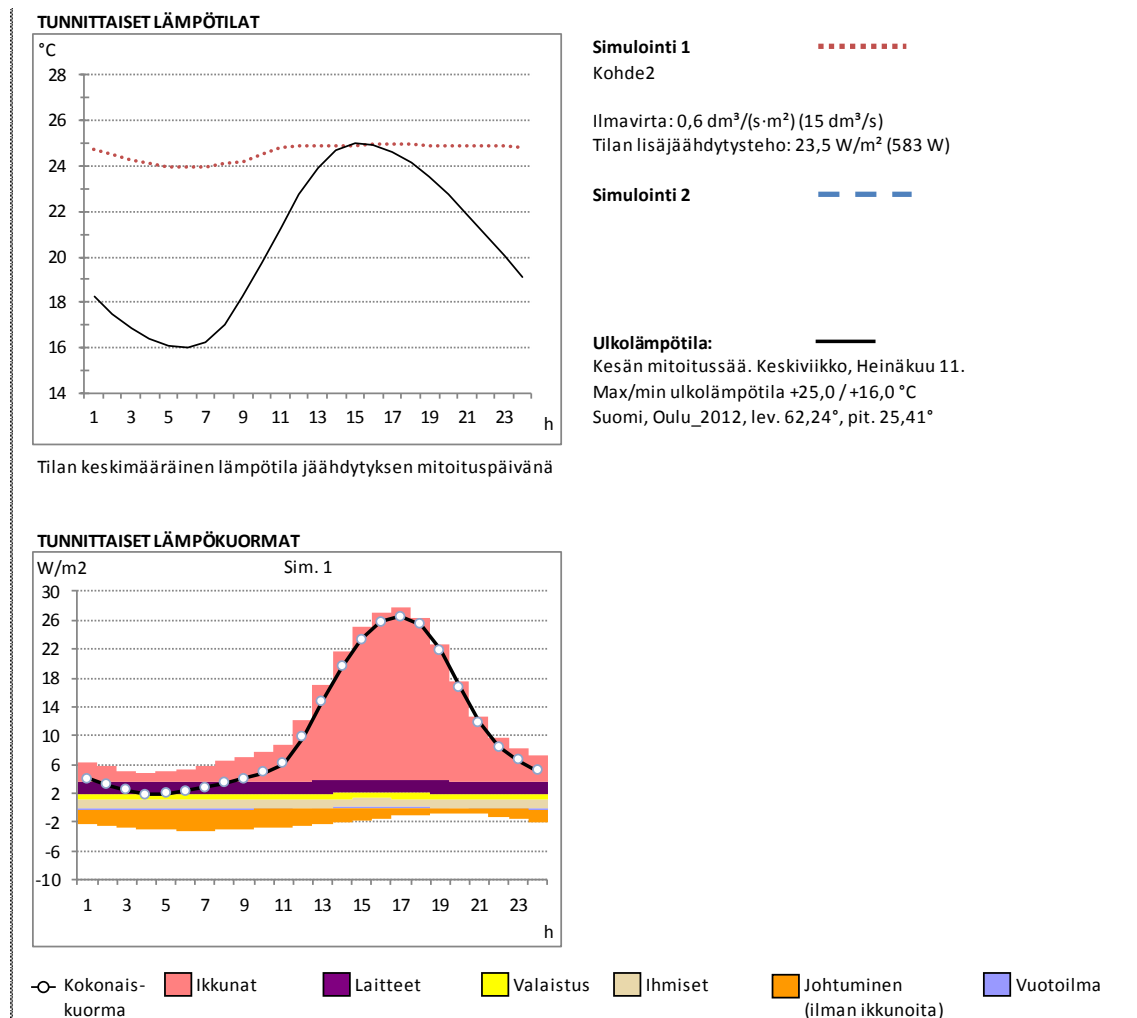
	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,580	0,580
2	0,000	0,458	0,458
3	0,000	0,362	0,362
4	0,000	0,297	0,297
5	0,000	0,275	0,275
6	0,000	0,293	0,293
7	0,000	0,534	0,534
8	0,000	0,776	0,776
9	0,000	0,998	0,998
10	0,000	1,171	1,171
11	0,000	1,381	1,381
12	0,000	1,537	1,537
13	0,000	2,015	2,015
14	0,000	2,308	2,308
15	0,000	2,533	2,533
16	0,000	2,687	2,687
17	0,000	2,773	2,773
18	0,000	2,828	<b>2,828</b>
19	0,000	2,686	2,686
20	0,000	2,384	2,384
21	0,000	1,932	1,932
22	0,000	1,442	1,442
23	0,000	1,066	1,066
24	0,000	0,769	0,769

34,09 kWh

**TAULUKKO 22. Tapauksen 4 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

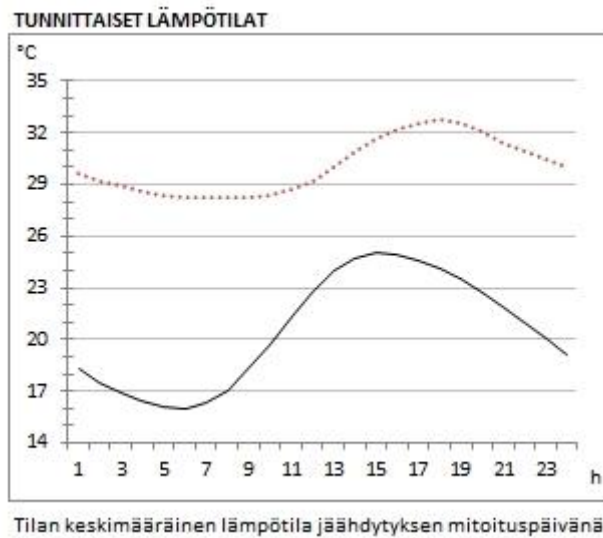
Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	245,54	1,943
Kesäkuu	367,70	2,612
Heinäkuu	421,61	<b>2,883</b>
Elokuu	275,89	2,03
	<b>1310,74 kWh</b>	

Kuvasta 23 voidaan lukea, miten lämpökuormat jakaantuvat. Tapaukseen 3 verrattuna (kaihtimet lisätty) olohuoneen jäähdytystehontarve on vähentynyt yli 50 %.



*KUVA 23. Talo B:n olohuone. Talo sijaitsee Oulussa. Ikkunoissa on kaihtimet. Olohuoneen lisäjäähdytysteho on 23,5 W/m²*

Jos talossa ei olisi jäähdytystä mutta kaihtimet on asennettu ikkunoihin, lämpötila kohoaisi mitoituspäivänä olohuoneessa kuvan 24 mukaan noin 33 °C:seen.

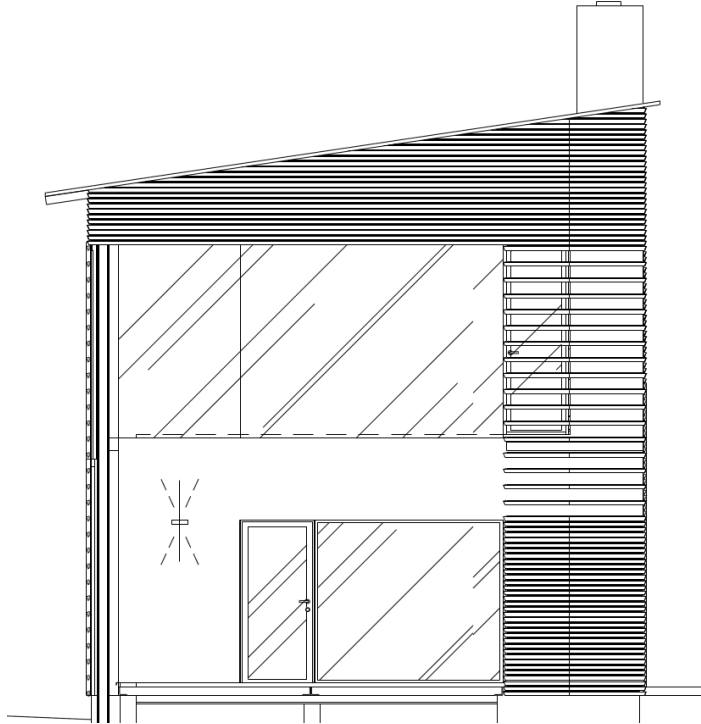


*KUVA 24. Olohuoneen lämpötila mitoituspäivänä, jos jäähdytystä ei ole*



#### 4.1.3 Talo C

Talo C on 2-kerroksinen arkkitehdin suunnittelema talo, jossa on suuret ikkuna-pinta-alat. Suurin osa olohuoneen ikkunoista suuntautuu länteen ja pohjoiseen (kuva 25).



KUVA 25. Talo C:n julkisivu lännestä

Taulukossa 22 on esitetty talon tietoja.

TAULUKKO 23. Talo C:n tiedot

Rakennuksen pinta-ala	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ikkuna pinta-ala	Ikkuna pinta-ala olohuoneessa	Tuloilmavirta
m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup> /s
183	515	68,85	30	102

Tapaus 1. Talo C sijaitsee Helsingissä, ikkunoissa ei ole kaihtimia ja talo on puurakenteinen. Taulukoissa 24, 26, 28 ja 30 on esitetty suunnittelupäivän tulokset ja taulukoissa 25, 27, 29 ja 31 kuukausittaiset tulokset.

**TAULUKKO 24. Tapauksen 1 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

Design day hourly cooling capacity

	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,238	0,238
2	0,000	0,123	0,123
3	0,000	0,071	0,071
4	0,000	0,028	0,028
5	0,000	0,022	0,022
6	0,000	0,648	0,648
7	0,000	1,819	1,819
8	0,000	2,373	2,373
9	0,000	3,131	3,131
10	0,000	3,830	3,830
11	0,000	4,365	4,365
12	0,000	4,695	4,695
13	0,000	4,995	4,995
14	0,000	5,698	5,698
15	0,000	6,764	6,764
16	0,000	7,672	7,672
17	0,000	8,179	8,179
18	0,000	8,204	<b>8,204</b>
19	0,000	7,983	7,983
20	0,000	7,107	7,107
21	0,000	4,738	4,738
22	0,000	2,346	2,346
23	0,000	1,219	1,219
24	0,000	0,503	0,503

86,75 kWh

**TAULUKKO 25. Tapauksen 1 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	1020,71	7,728
Kesäkuu	1449,94	7,906
Heinäkuu	1835,72	<b>9,078</b>
Elokuu	985,81	8,668
	<b>5292,18 kWh</b>	

Tapaus 2. Talo C sijaitsee Helsingissä, ikkunoiden uloimmassa välissä on kaihtimet ja talo on puurakenteinen.

**TAULUKKO 26. Tapauksen 2 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

Design day hourly cooling capacity

	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,045	0,045
2	0,000	0,038	0,038
3	0,000	0,033	0,033
4	0,000	0,028	0,028
5	0,000	0,022	0,022
6	0,000	0,022	0,022
7	0,000	0,177	0,177
8	0,000	0,537	0,537
9	0,000	0,722	0,722
10	0,000	0,822	0,822
11	0,000	1,120	1,120
12	0,000	1,753	1,753
13	0,000	2,233	2,233
14	0,000	2,738	2,738
15	0,000	3,339	3,339
16	0,000	3,841	3,841
17	0,000	4,072	<b>4,072</b>
18	0,000	4,016	4,016
19	0,000	3,893	3,893
20	0,000	3,386	3,386
21	0,000	2,213	2,213
22	0,000	1,001	1,001
23	0,000	0,361	0,361
24	0,000	0,083	0,083

36,50 kWh

**TAULUKKO 27. Tapauksen 2 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	189,61	3,098
Kesäkuu	347,96	3,58
Heinäkuu	584,97	<b>4,459</b>
Elokuu	274,82	4,304
	<b>1397,36 kWh</b>	

Tapaus 3. Talo C sijaitsee Oulussa, ikkunoissa ei ole kaihtimia ja talo on puura-kenteinen.

**TAULUKKO 28. Tapauksen 3 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

Design day hourly cooling capacity

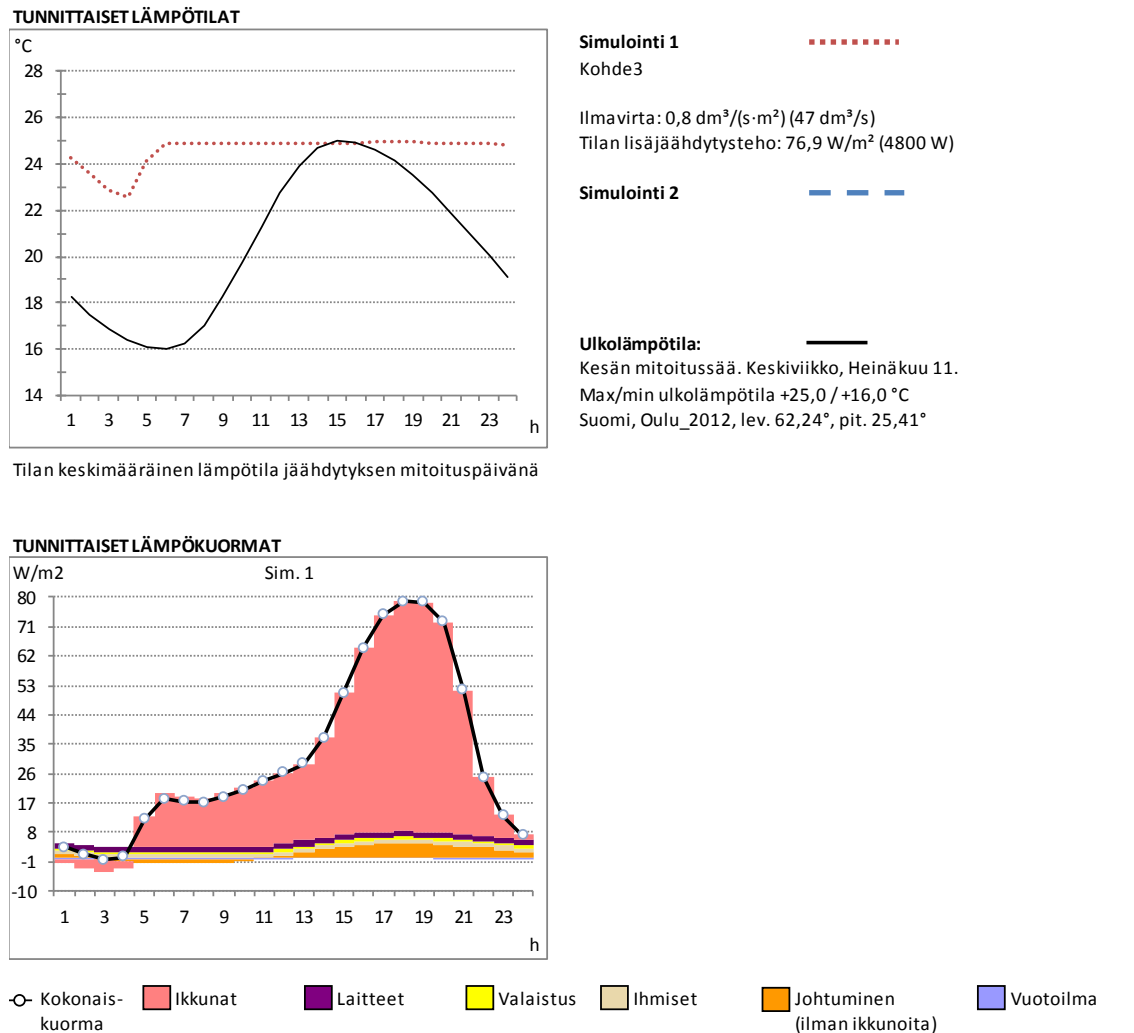
	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,367	0,367
2	0,000	0,217	0,217
3	0,000	0,138	0,138
4	0,000	0,080	0,080
5	0,000	0,074	0,074
6	0,000	1,234	1,234
7	0,000	2,087	2,087
8	0,000	2,590	2,590
9	0,000	3,290	3,290
10	0,000	3,930	3,930
11	0,000	4,313	4,313
12	0,000	4,523	4,523
13	0,000	4,760	4,760
14	0,000	5,476	5,476
15	0,000	6,560	6,560
16	0,000	7,521	7,521
17	0,000	8,100	8,100
18	0,000	8,183	<b>8,183</b>
19	0,000	8,041	8,041
20	0,000	7,351	7,351
21	0,000	5,356	5,356
22	0,000	2,783	2,783
23	0,000	1,495	1,495
24	0,000	0,699	0,699

89,17 kWh

**TAULUKKO 29. Tapauksen 3 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	1153,49	7,856
Kesäkuu	1285,26	8,446
Heinäkuu	1404,34	<b>8,73</b>
Elokuu	766,04	7,811
	<b>4609,14</b>	<b>kWh</b>

Kuvasta 26 voidaan lukea, miten lämpökuormat jakautuvat. Ikkunoista sisään tuleva auringon säteily on suurin lämpökuorman aiheuttaja. Pelkän olohuoneen jäähdytystehon tarve on 4,8 kW. Kyseessä on talo C, tapaus 3 ja olohuone.



*KUVA 26. Talo C:n olohuone. Talo sijaitsee Oulussa. Ikkunoissa ei ole kaihtimia. Olohuoneen lisäjäähdytysteho on  $76,9 \text{ W/m}^2$*

Tapaus 4. Talo C sijaitsee Oulussa, ikkunoiden uloimmassa välissä on kaihtimet ja talo on puurakenteinen.

**TAULUKKO 30. Tapauksen 4 suunnittelupäivän tuntiset tehot**

Data:

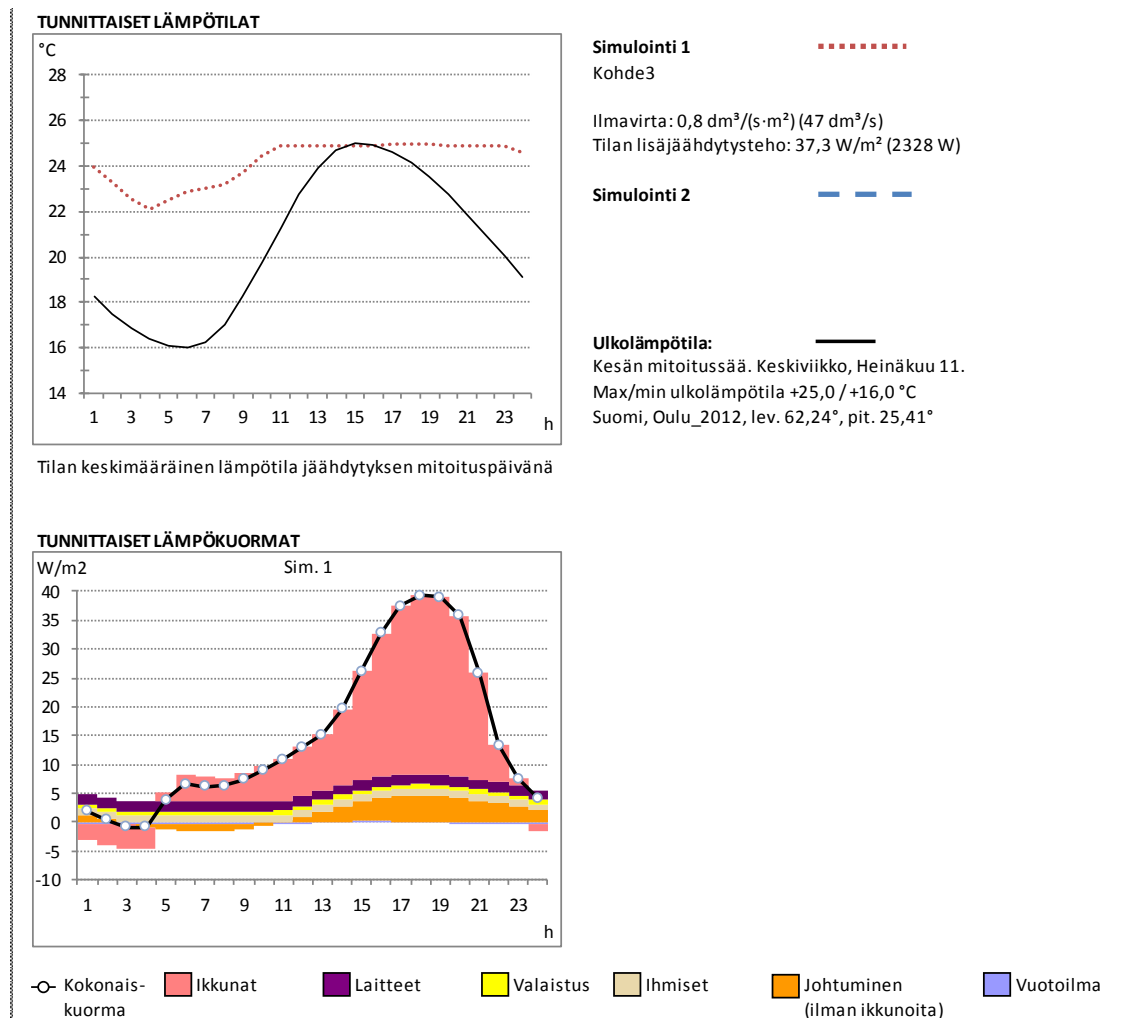
Design day hourly cooling capacity

	AC-System	Space cooling	Total
h	kW	kW	kW
1	0,000	0,047	0,047
2	0,000	0,040	0,040
3	0,000	0,035	0,035
4	0,000	0,030	0,030
5	0,000	0,024	0,024
6	0,000	0,022	0,022
7	0,000	0,365	0,365
8	0,000	0,582	0,582
9	0,000	0,755	0,755
10	0,000	0,878	0,878
11	0,000	1,177	1,177
12	0,000	1,829	1,829
13	0,000	2,305	2,305
14	0,000	2,816	2,816
15	0,000	3,414	3,414
16	0,000	3,893	3,893
17	0,000	4,105	<b>4,105</b>
18	0,000	4,038	4,038
19	0,000	3,914	3,914
20	0,000	3,468	3,468
21	0,000	2,440	2,440
22	0,000	1,129	1,129
23	0,000	0,425	0,425
24	0,000	0,094	0,094
			37,83 kWh

**TAULUKKO 31. Tapauksen 4 kuukausittaiset energiat ja kuukauden huipputeho**

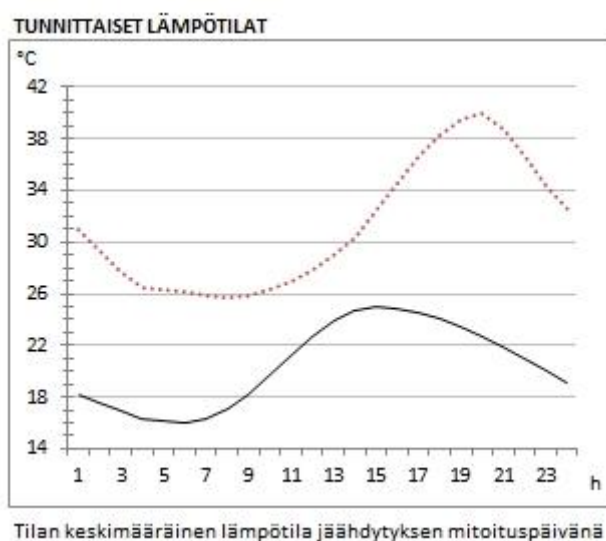
Kuukausi	Energia	Huipputeho
	[kWh/kk]	[kW]
Toukokuu	227,04	3,446
Kesäkuu	358,89	4,119
Heinäkuu	414,53	<b>4,461</b>
Elokuu	178,13	3,364
	<b>1178,58 kWh</b>	

Kuvasta 27 voidaan lukea, miten lämpökuormat jakaantuvat. Tapaukseen 3 verrattuna (kaihtimet lisätty) olohuoneen jäähdytystehontarve on vähentynyt yli 50 %.



*KUVA 27. Talo C:n olohuone. Talo sijaitsee Oulussa. Ikkunoissa on kaihtimet. Olohuoneen lisäjäähdytysteho on 37,3 W/m<sup>2</sup>*

Jos talossa ei olisi jäähdytystä mutta kaihtimet on asennettu ikkunoihin, lämpötila kohoaisi mitoituspäivänä olohuoneessa kuvan 28 mukaan 40 °C:seen.



KUVA 28. Olohuoneen lämpötila, jos jäähdytystä ei ole

#### 4.1.4 Yhteenveto

Taulukkoon 32 on koottu kaikkien talojen mitoituspäivän jäähdytysteho, mitoituspäivän energia ja jäähdytyskauden energia.

TAULUKKO 32. Rakennusten jäähdytystiedot

Materiaali		Puurunkoinen						Betoni	
Paikkakunta		Helsinki			Oulu				
Talo		Ei kaihtimia	Kaihtimet	Erotus	Ei kaihtimia	Kaihtimet	Erotus	Kaihtimet	Erotus puuhun
A	$\emptyset$ mitoituspäivä [kW]	3,3	1,6	-51 %	3,2	1,7	-49 %	1,3	-21 %
A	$Q_{\text{mitoituspäivä}}$ [kWh]	32,5	13,5	-59 %	33,3	14,0	-58 %	14,0	0 %
A	$Q_{\text{jäähdytyskausi}}$ [kWh]	1405,6	293,9	-79 %	1160,0	218,5	-81 %	99,3	-55 %
B	$\emptyset$ mitoituspäivä [kW]	4,6	2,8	-39 %	4,6	2,8	-39 %	2,2	-21 %
B	$Q_{\text{mitoituspäivä}}$ [kWh]	56,4	33,4	-41 %	58,1	34,1	-41 %	34,3	1 %
B	$Q_{\text{jäähdytyskausi}}$ [kWh]	3080,9	1532,2	-50 %	2676,5	1310,7	-51 %	1135,0	-13 %
C	$\emptyset$ mitoituspäivä [kW]	8,2	4,1	-50 %	8,2	4,1	-50 %	2,8	-32 %
C	$Q_{\text{mitoituspäivä}}$ [kWh]	86,8	36,5	-58 %	89,2	37,8	-58 %	36,3	-4 %
C	$Q_{\text{jäähdytyskausi}}$ [kWh]	5292,2	1397,4	-74 %	4609,1	1178,6	-74 %	440,5	-63 %



## 4.2 Energiakaivojen lämpötilat

Toimeksiantava yritys mitoitti jokaiseen esimerkkitaloon energiakaivon omilla laskentatyökaluillaan. Kaivot mitoitettiin Ouluun. Mitoitettujen kaivojen syvyyksi- en ja edellä olevien jäähdytystehojen ja -energioiden perusteella simuloitiin liu- oslämpötiloja Oulussa EED-kaivonmitoitushjelmalla.

EED-tietokoneohjelma on ruotsalaisten kehittänyt työkalu kalliolämpöjärjes- telmien mitoittamiseen. Ohjelmaan syötetään tarvittavat lämmitys- ja jäähdy- tysenergiamäärät, lämpökaivon halkaisija, kallion, lämmönkeruuputkiston sekä lämmönkeruunesteen tiedot. Lisäksi määritetään lämpökaivon simuloinnin kesto vuosissa sekä käyttöönottovuosi. Ohjelma laskee lämpökaivon syvyyden tai jos syvyys on annettu, laskee ohjelma liuoksen lämpötilan eri ajankohtina. (4, s. 60.)

Mallinnuksessa maaperän parametriarvoina käytettiin seuraavia arvoja: kallio- perän lämmönjohtavuutena  $3,24 \text{ W/(mK)}$ , tilavuuslämpökapasitettina  $2,2 \text{ MJ/m}^3\text{K}$  ja lämpövuon tiheytenä  $0,037 \text{ W/m}^2$ . Arvot vastaavat Suomen keski- määräisiä kalliooperän arvoja. (4, s. 61.)

Lämpökaivon parametriarvot ovat taulukon 33 mukaisia.

*TAULUKKO 33. Lämpökaivon syöttötiedot EED-ohjelmaan*

Lämmönkeruuputkiston tyyppi	U-putki, PE40 PN6
Kaivon halkaisija	115 mm
Lämmönkeruuliuos	25 % vesi-etanoliliuos

Ohjelmaan syötettävänä lämmitysenergiatarpeina, lämpökaivon syvyyksinä ja lämpöpumpun lämpökertoimina käytettiin yrityksen laskemia arvoja, jotka on esitetty taulukossa 34. Laskelmat tehtiin Ouluun. Kohteissa on lattialämmitys ja käyttöveden kulutus perustuu 5 henkilölle jokaisessa kohteessa.

*TAULUKKO 34. Talojen lämmityksen tiedot*

	Lämpöpumpulla tuotettu lämmitysenergia	Lämpöpumpulla tuotettu käyttövesi	Lämpöpumpun sähkönkulutus	COP	Kaivon syvyys
	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]		[m]
Talo A	10445,112	4875,5	4257	3,6	130
Talo B	15717,24	4851	5635	3,7	175
Talo C	16805,6	4831,4	5865	3,7	182

Riuska-ohjelmalla lasketut jäähdytystehot ja energian tarpeet Oulussa ilman kaihtimia on koottu taulukkoon 35 ja kaihtimien kanssa taulukkoon 36.

*TAULUKKO 35. Jäähdytystehot ja -energiat Oulussa ilman kaihtimia*

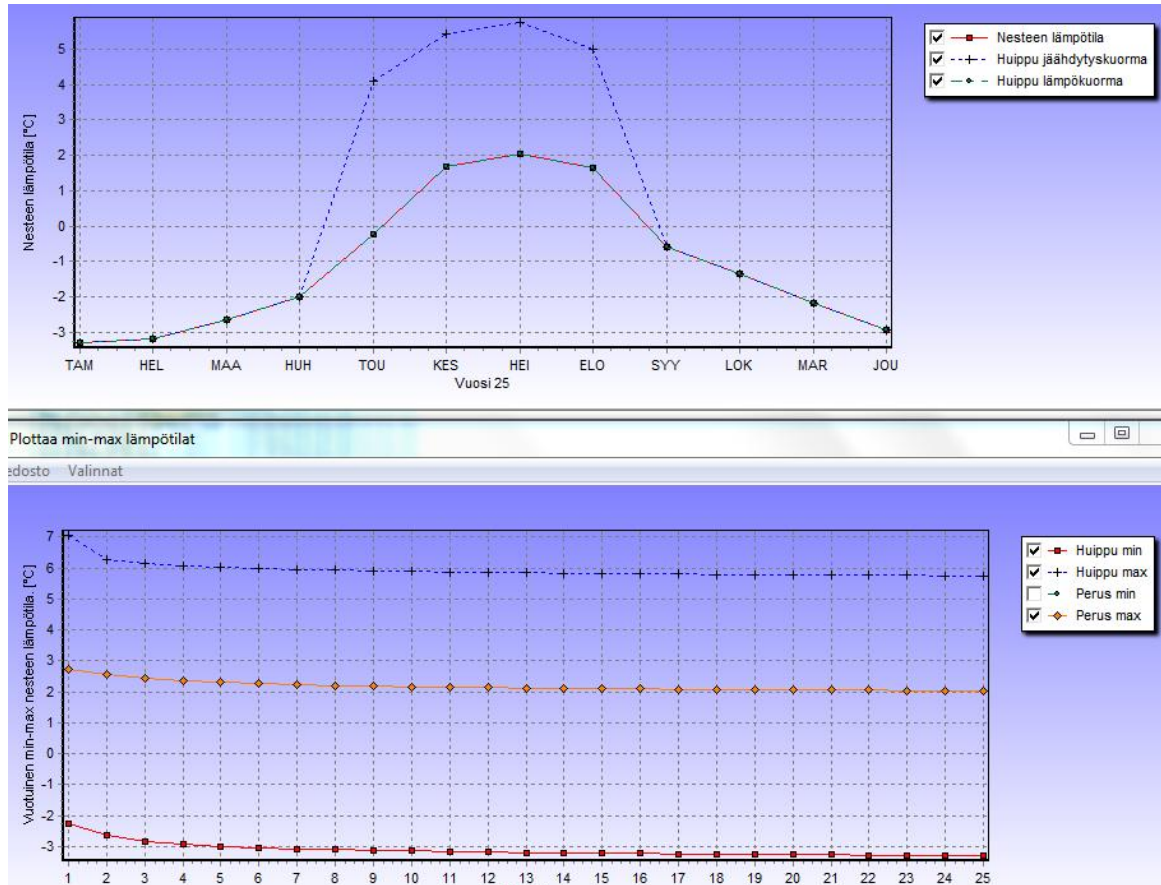
		Maksimi jäähdytysteho	Jäähdytysenergia	Jäähdytysenergia jäähdytyskaudella
		[kW]	[kWh/kk]	[kWh]
Talo A	Toukokuu	2,881	258,523	<b>1160,033</b>
	Kesäkuu	3,125	309,789	
	Heinäkuu	3,203	369,503	
	Elokuu	2,701	222,218	
Talo B	Toukokuu	3,984	591,309	<b>2676,512</b>
	Kesäkuu	4,64	723,364	
	Heinäkuu	4,87	831,633	
	Elokuu	3,967	530,206	
Talo C	Toukokuu	7,856	1153,493	<b>4609,137</b>
	Kesäkuu	8,446	1285,263	
	Heinäkuu	8,73	1404,337	
	Elokuu	7,811	766,044	

TAULUKKO 36. Jäähdytystehot ja -energiat Oulussa kaihtimien kanssa

		Maksimi jäähdytys- teho	Jäähdytysenergia	Jäähdytysenergia jäähdytyskaudella
		[kW]	[kWh/kk]	[kWh]
Talo A	Toukokuu	1,096	32,596	<b>218,542</b>
	Kesäkuu	1,454	67,987	
	Heinäkuu	1,568	78,783	
	Elokuu	1,136	39,176	
Talo B	Toukokuu	1,943	245,54	<b>1310,735</b>
	Kesäkuu	2,612	367,695	
	Heinäkuu	2,883	421,609	
	Elokuu	2,03	275,891	
Talo C	Toukokuu	3,446	227,037	<b>1178,582</b>
	Kesäkuu	4,119	358,893	
	Heinäkuu	4,461	414,527	
	Elokuu	3,364	178,125	

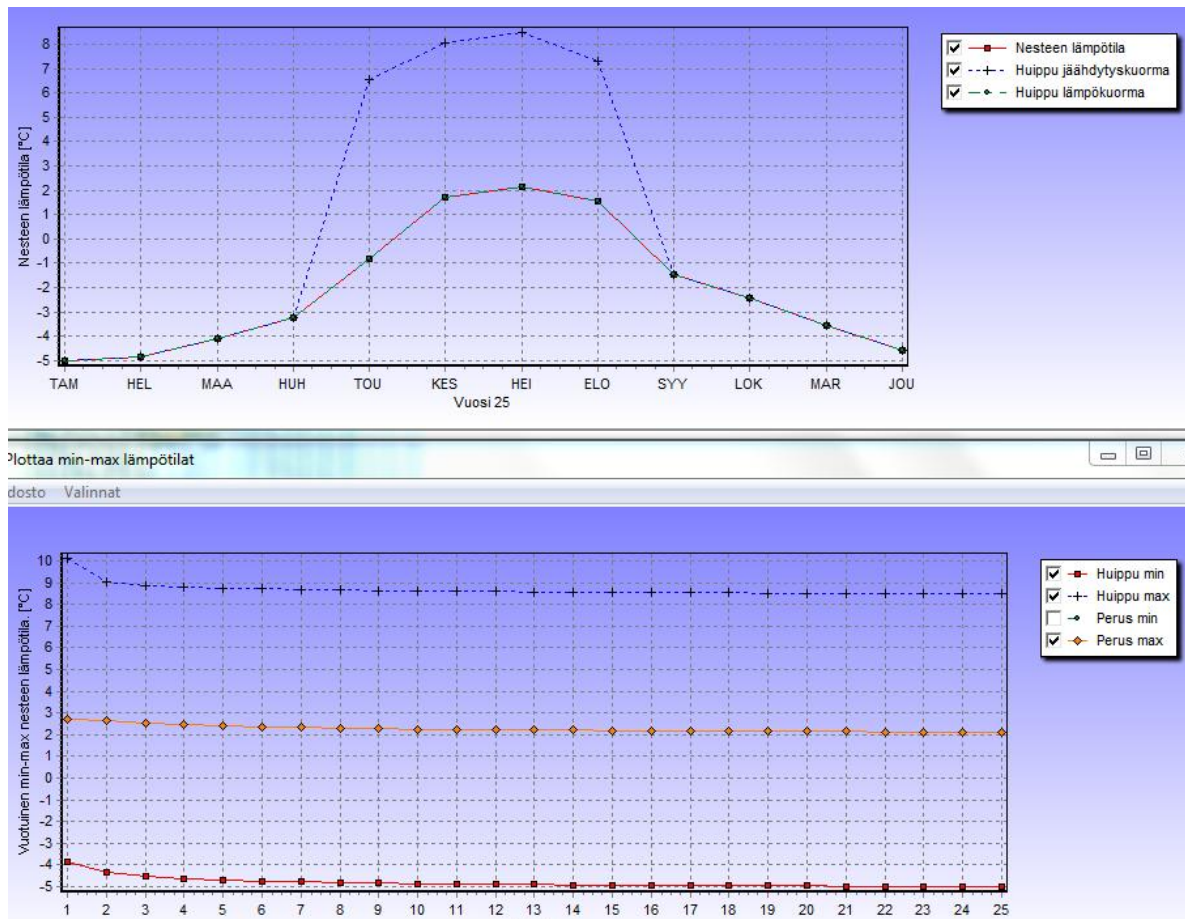
#### 4.2.1 Talo A

Talon A porakaivon syvyys on 130 m. Kuvassa 29 on Oulussa sijaitsevan talon A kaivon liuoslämpötilat. Talon mitoitusjäähdytysteho on 3,2 kW. Virtaus on turbulenttista. Liuoslämpötila kohoaa heinäkuussa noin 6 °C:seen.



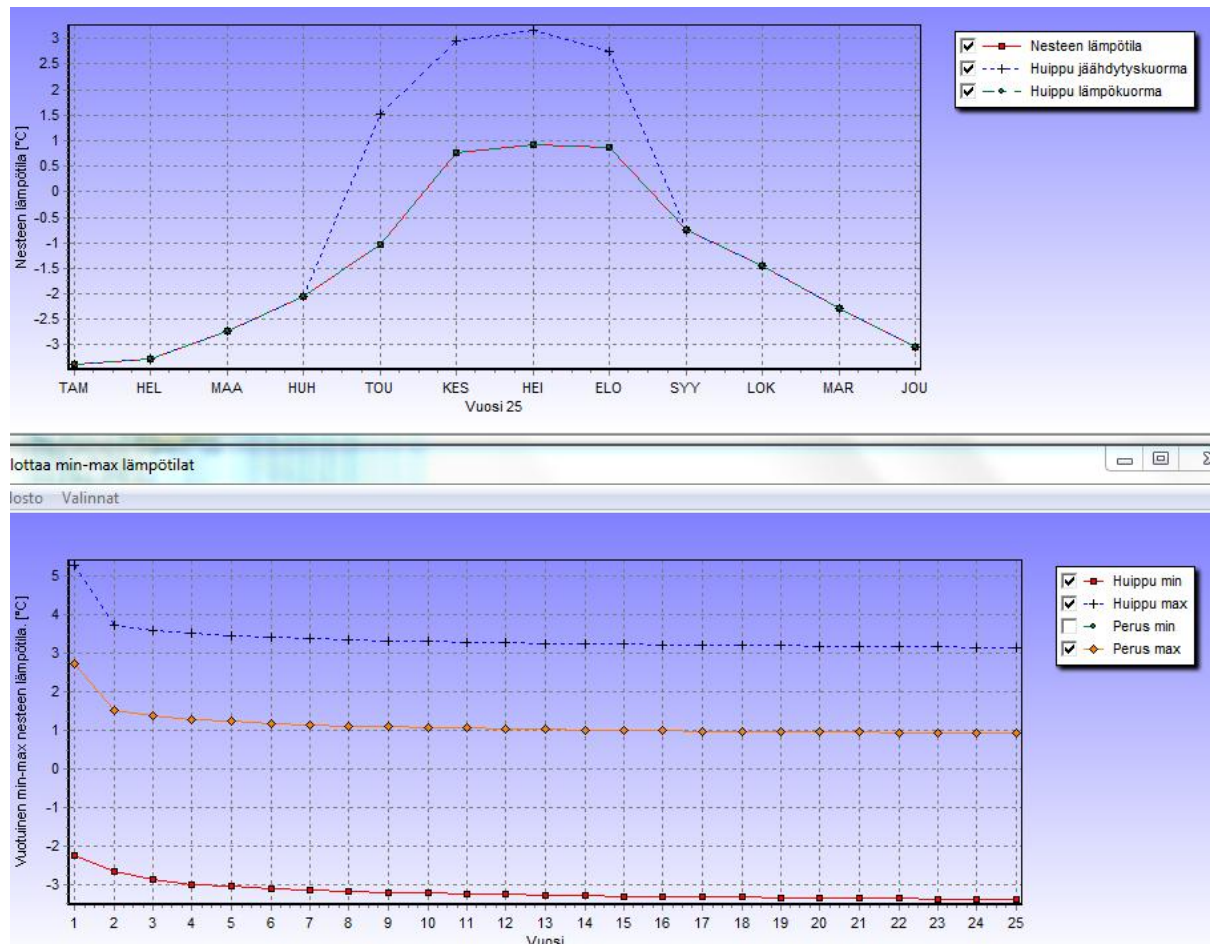
KUVA 29. Liuoksen lämpötilat talo A:ssa 3,2 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on turbulenttista

Kuvassa 30 on sama tilanne kuin kuvassa 29, mutta virtaus on laminaarista. Tästä johtuen liuoslämpötila on noussut 8,5 °C:seen eli noin 1,5 °C.



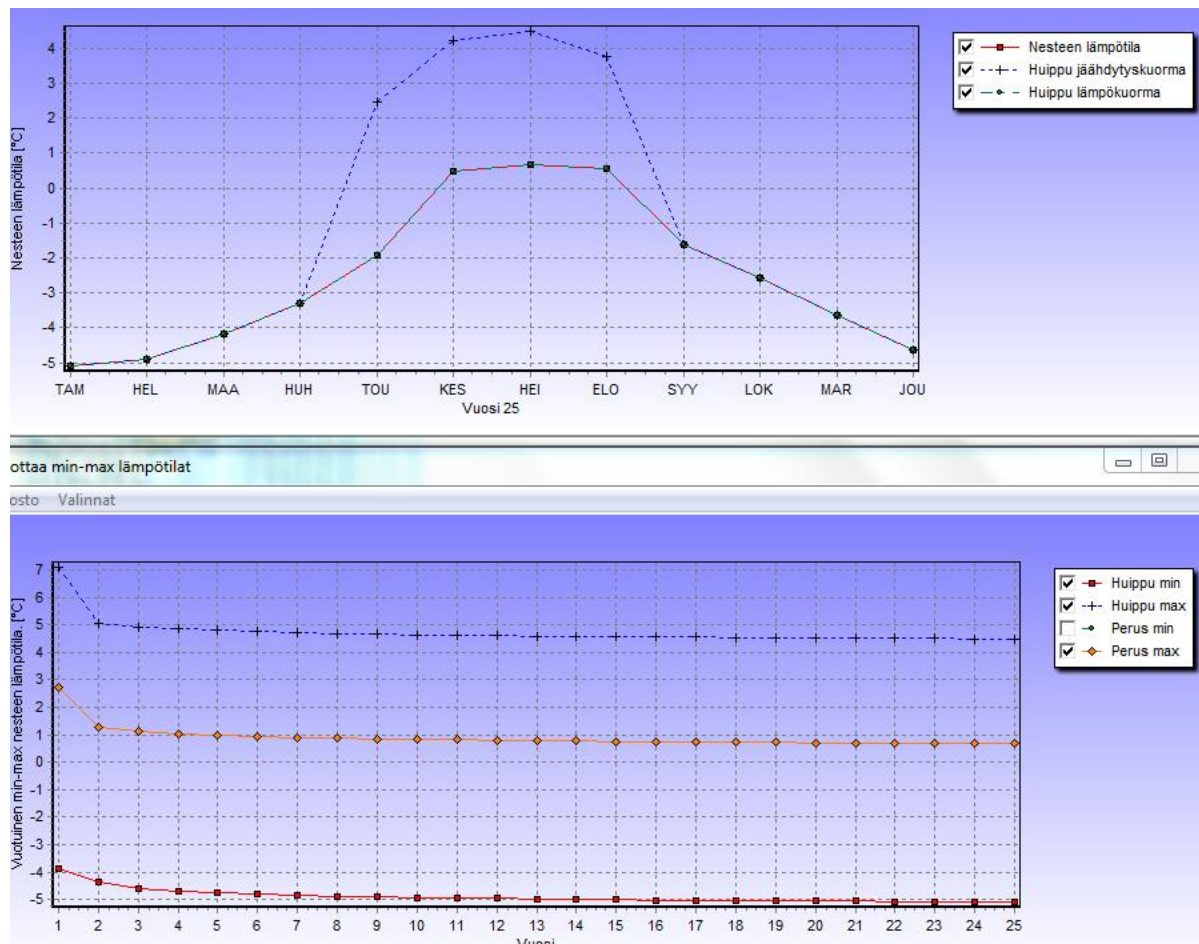
KUVA 30. Liuoslämpötilat talo A:ssa 3,2 kW:n mitoitusteholla. Virtaus on laminaarista

Kuvassa 31 on talo A kaivon liuoslämpötilat Oulussa. Talossa on kaihtimet ja mitoitusjäähdytysteho on 1,6 kW. Virtaus on turbulenttista. Kaivon lämpötila nousee heinäkuussa noin 3 °C:seen.



KUVA 31. Liuoslämpötilat talo A:ssa 1,6 kW:n mitoitusjäähdytysteholla. Virtaus on turbulenttista

Kuvassa 32 on sama tilanne kuin kuvassa 31, mutta virtaama on laminaarista. Liuoslämpötila nousee kesällä hieman yli 4 °C:seen eli laminaarinen virtaus nostaa tässä tapauksessa liuoksen lämpötilaa noin 1°C.

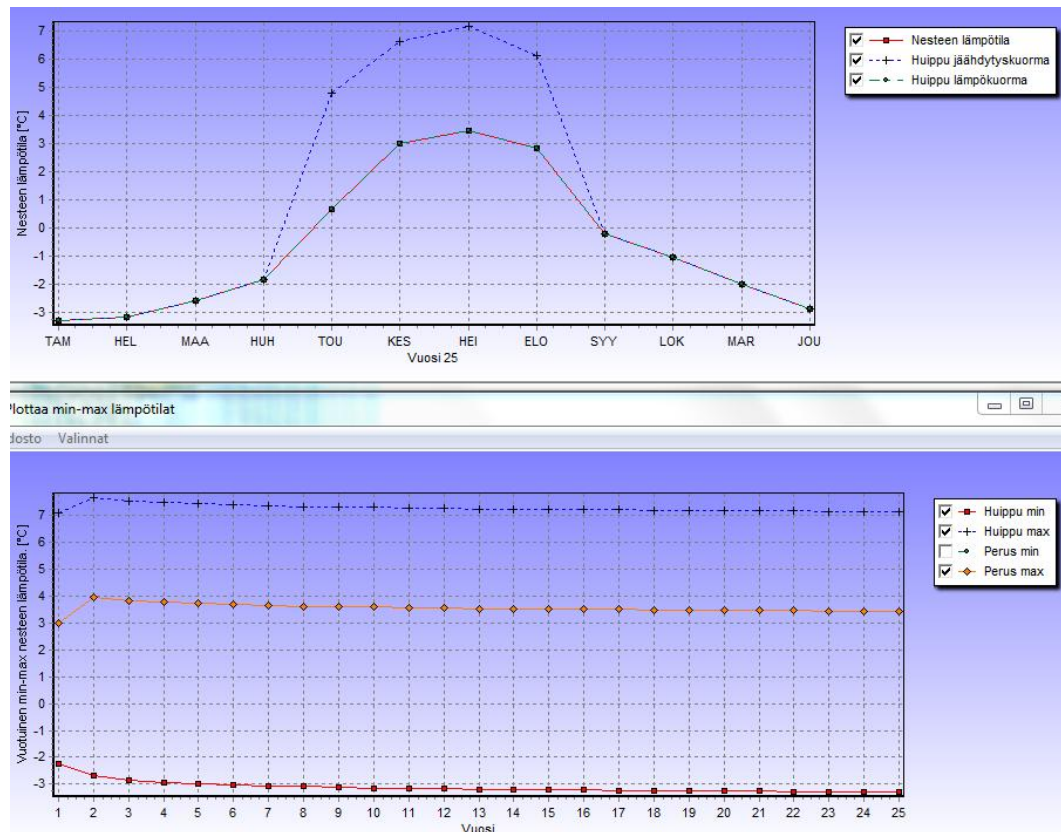


KUVA 32. Liuoslämpötilat talo A:ssa 1,6 kW:n mitoitusjäähdytysteholla. Virtaus on laminaarista



## 4.2.2 Talo B

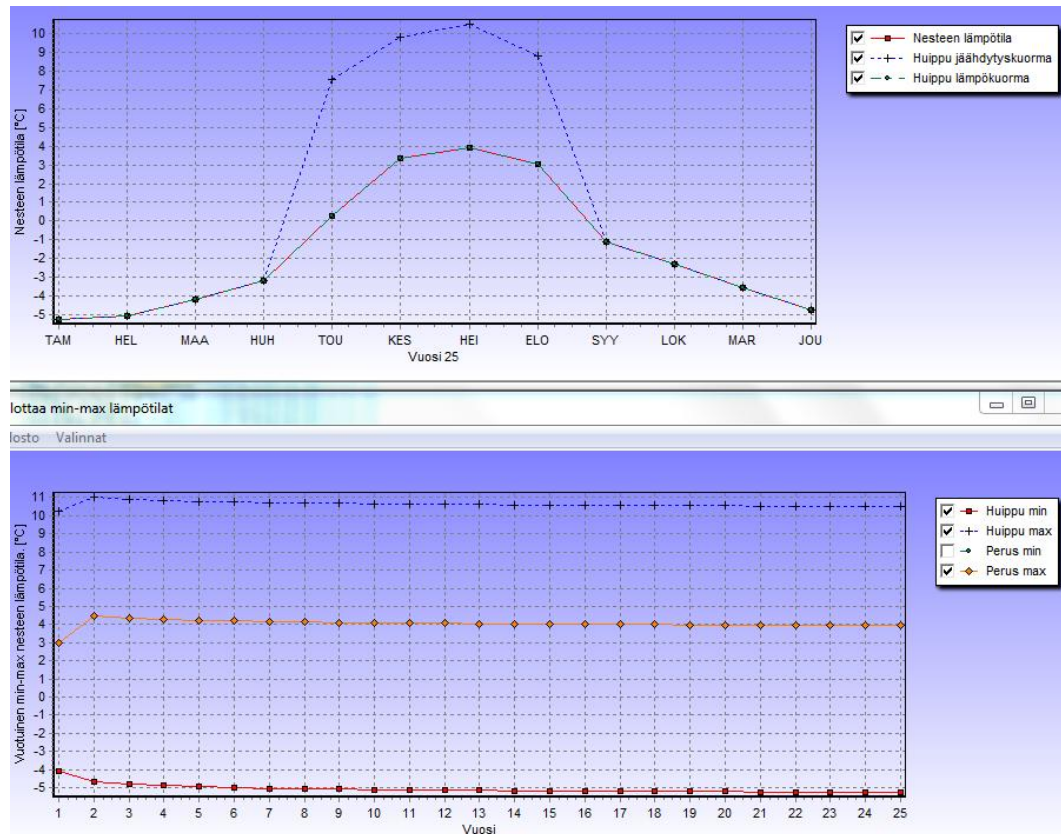
Talon B porakaivon syvyys on 175 m. Kuvassa 33 on talon B kaivon liuoslämpötilat Oulussa. Talossa ei ole kaihtimia. Talon mitoitusjäähdytysteho on 4,9 kW. Virtaus on turbulenttista. Liuoslämpötila kohoaa heinäkuussa 7 °C:seen.



KUVA 33. Liuoksen lämpötilat talo B:ssä 4,9 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on turbulenttista

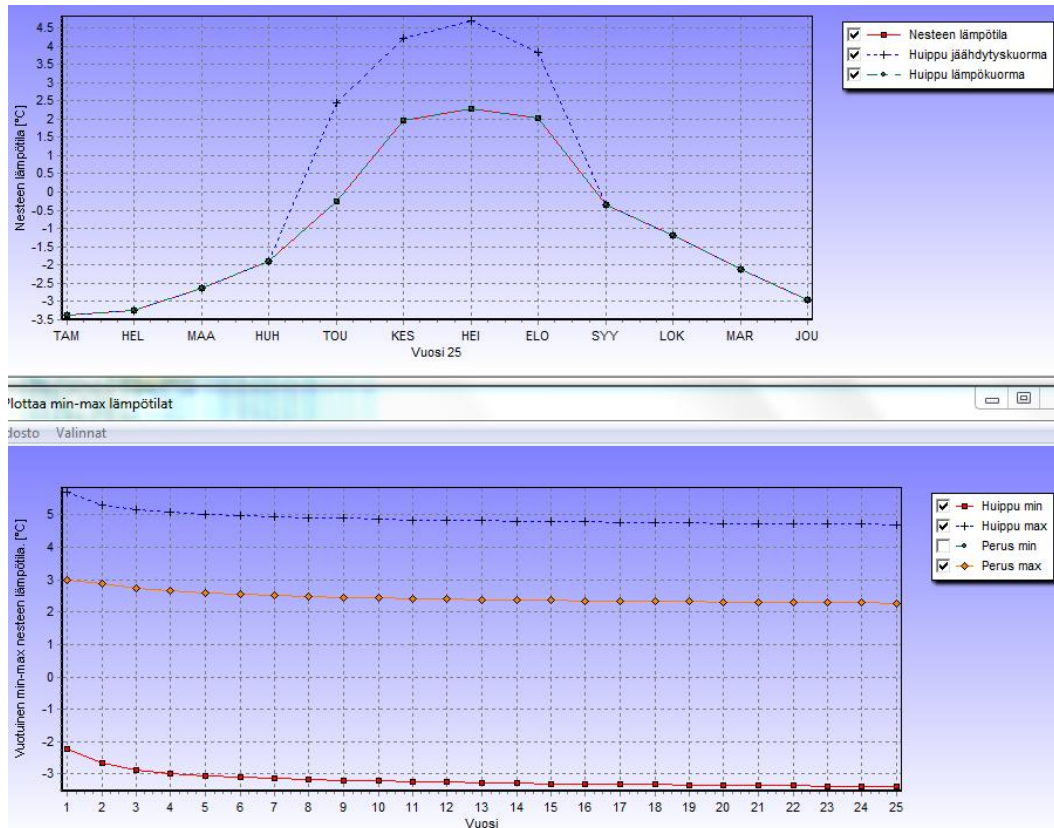


Kuvassa 34 sama tilanne kuin kuvassa 33, mutta virtaus on laminaarista. Liuoslämpötila kasvaa laminaarisuuden vuoksi noin 4 °C.



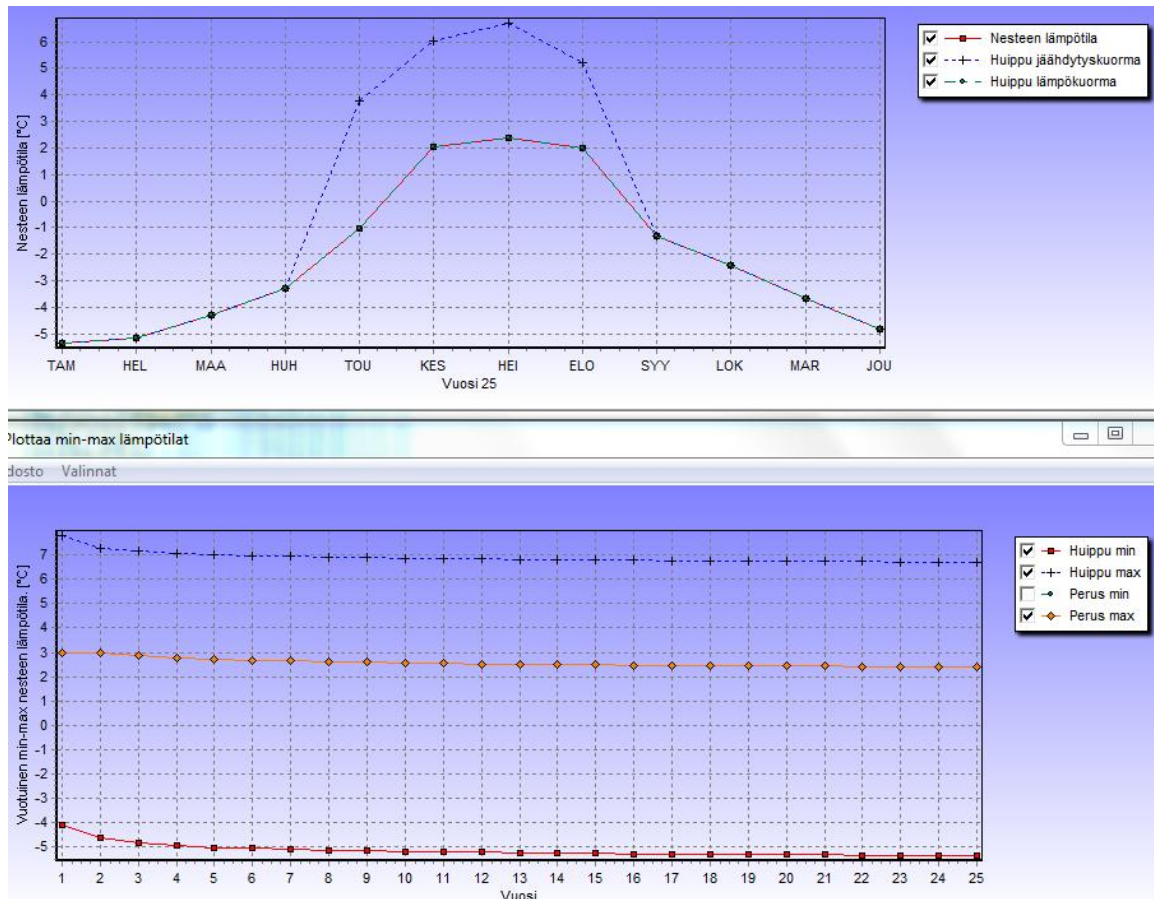
KUVA 34. Liuoksen lämpötilat talo B:ssä 4,9 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on laminaarista

Kuvassa 35 on talo B kaivon liuoslämpötilat Oulussa. Talossa on kaihtimet. Talon mitoitus jäähdytysteho on 2,9 kW. Virtaus on turbulenttista. Liuoslämpötila kohoaa heinäkuussa 4,5 °C:seen.



KUVA 35. Liuoksen lämpötilat talo B:ssä 2,9 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on turbulenttista

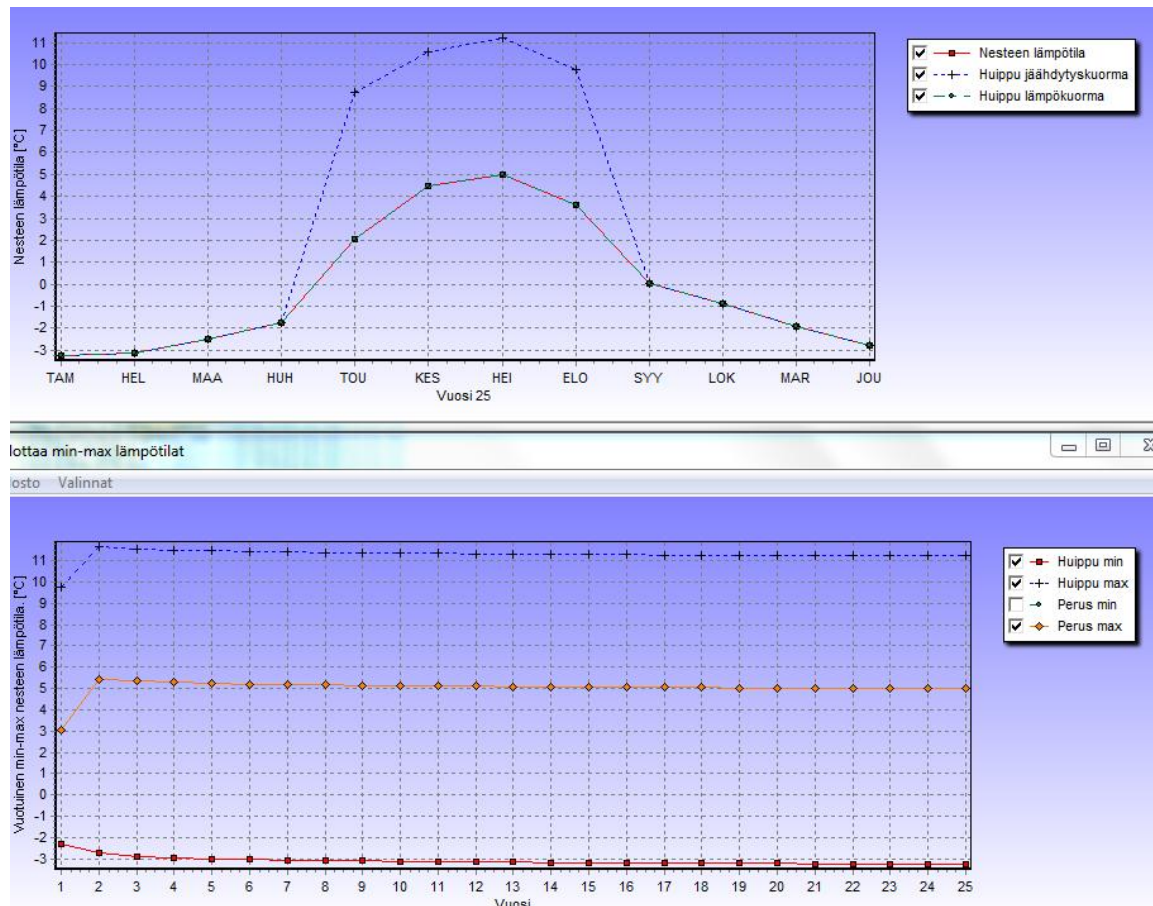
Kuvassa 36 sama tilanne kuin kuvassa 35, mutta virtaus on laminaarista. Liuos-  
lämpötila kasvaa laminaarisuuden vuoksi noin 2,5 °C.



KUVA 36. Liuoksen lämpötilat talo B:ssä 2,9 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on laminaarista

### 4.2.3 Talo C

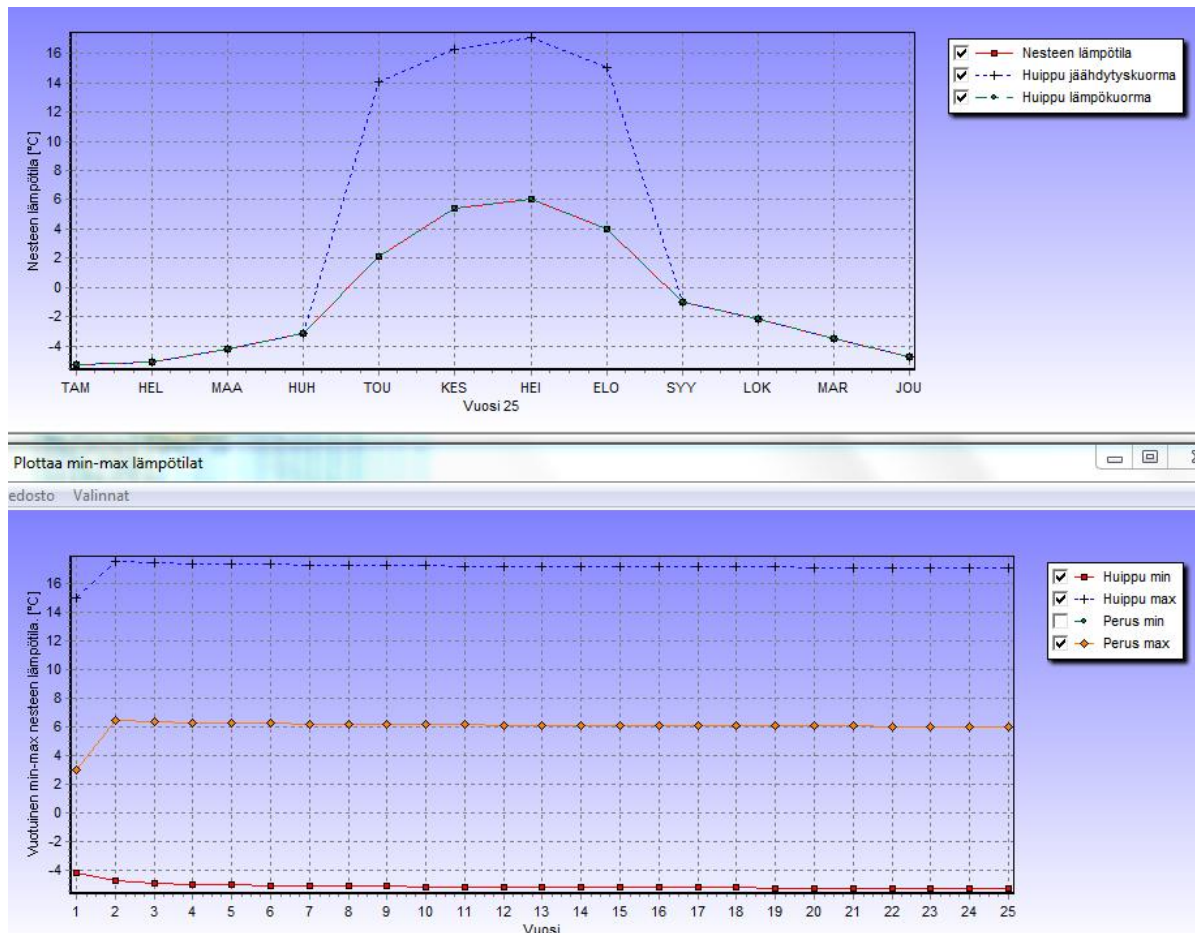
Talon C porakaivon syvyys on 182 m. Kuvassa 37 on Oulussa sijaitsevan talon C kaivon liuoslämpötilat. Talon mitoitusjäähdytysteho ilman kaihtimia on 8,7 kW. Virtaus on turbulenttista. Liuoslämpötila kohoaa heinäkuussa noin 11 °C:seen.



KUVA 37. Liuoksen lämpötilat talo C:ssä 8,7 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on turbulenttista

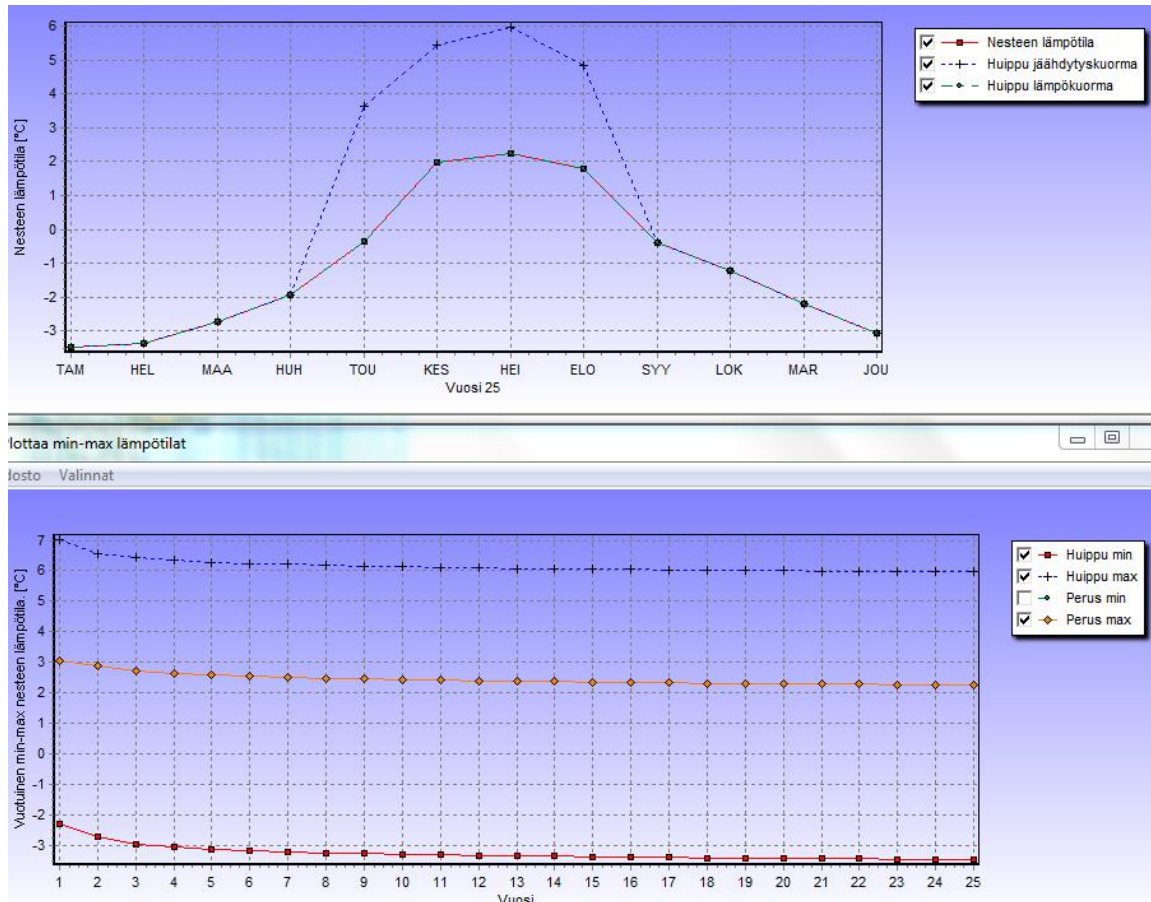


Kuvassa 38 sama tilanne kuin kuvassa 37, mutta virtaus on laminaarista. Liuoslämpötila nousee kesällä 17 °C:seen eli laminaarinen virtaus nostaa tässä tapauksessa liuoksen lämpötilaa noin 6 °C. Kun jäähdytysteho on suuri, korostuu laminaarisen ja turbulenttisen virtauksen merkitys.



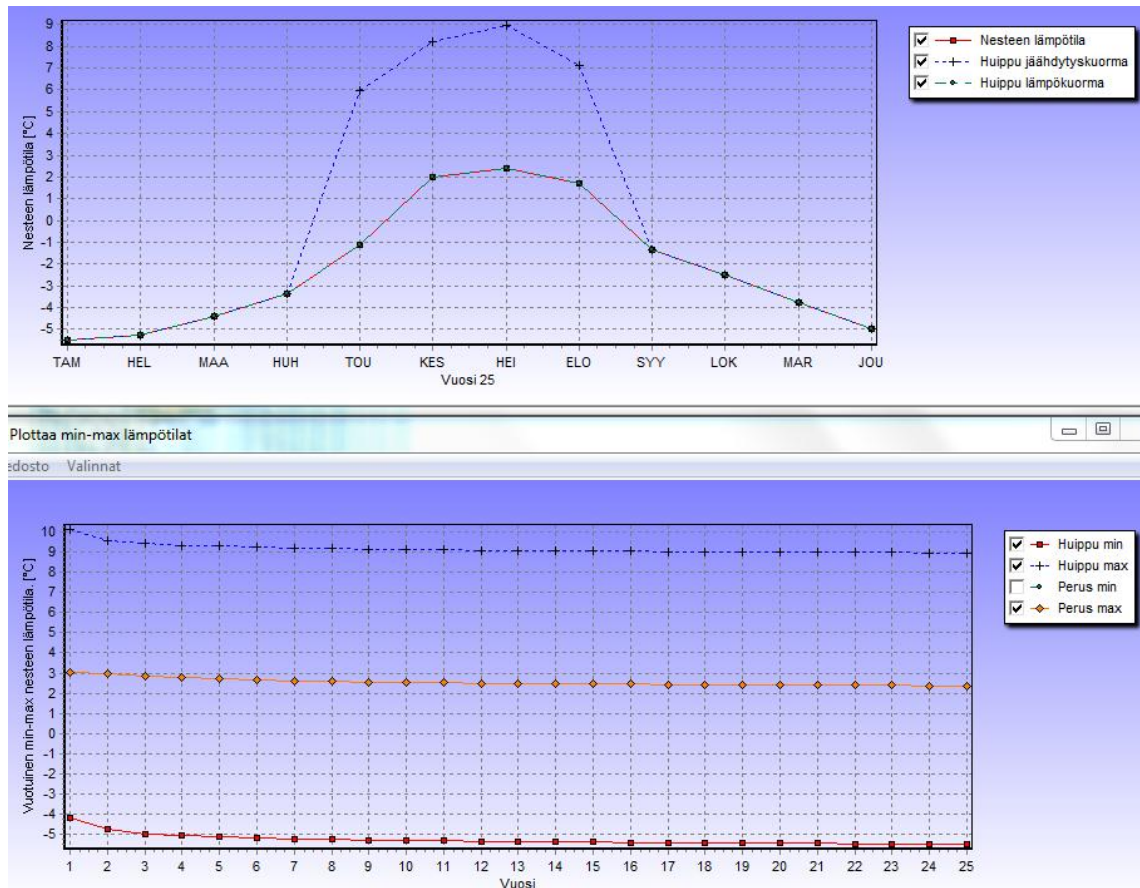
KUVA 38. Liuoksen lämpötilat talo C:ssa 8,7 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on laminaarista

Kuvassa 39 on Oulussa sijaitsevan talo C kaivon liuoslämpötilat. Talon mitoitusjäähdytysteho kaihtimien kanssa on 4,5 kW. Virtaus on turbulenttista. Liuoslämpötila kohoaa heinäkuussa noin 6 °C:seen.



KUVA 39. Liuoksen lämpötilat talo C:ssä 4,5 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on turbulenttista

Kuvassa 40 sama tilanne kuin kuvassa 39, mutta virtaus on laminaarista. Liuos-  
lämpötila kasvaa laminaarisuuden vuoksi noin 3 °C.



KUVA 40. Liuoksen lämpötilat talo C:ssa 4,5 kW:n mitoitusjäähdytyksellä. Virtaus on laminaarista

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Omakotitalossa ratkaiseva merkitys jäähdytyksen tehontarpeessa on passiivisilla keinoilla. Suuret ikkunat ovat suurin tekijä jäähdytystehon muodostumiseen. Sälekaihtimilla voidaan pienentää mitoituspäivän tehoa 39–51 % verrattuna siihen, että kaihtimia ei olisi. Jäähdytyskauden energiaa voidaan kaihtimilla pienentää 51–81 %. Paikkakunnalla Oulu tai Helsinki ei ole mitoituspäivän tehoon käytännössä merkitystä, mutta jäähdytysenergiaa kuluu Helsingissä hieman enemmän kuin Oulussa.

Työn yhtenä tarkoituksena oli selvittää, mikä on ns. kriittinen kohta puhallinkonvektorin mitoituksessa maaviileän kanssa. Työtä tehtäessä vahvistui oletus siitä, että konvektoreille ei saada riittävää virtausta aikaan nestepuolelle, jos kytkentäjohdot ovat liian pieniä.

Porakaivoissa riittää viileää, jos taloissa ei ole ylisuuria ikkunoita. Työtä tehtäessä ilmeni myös, että keruuputkessa Reynoldsin luvulla eli virtauksen turbulenttisuudella tai laminaarisuudella voi olla merkittävä vaikutus nesteen lämpötilaan. Jos jäähdytysteho on pieni, kaivon laminaarisella virtauksella ei ole niin suurta merkitystä. Kaivon syvyydelläkin on tässä asiassa merkitystä. Mitä syvempi kaivo, sitä pitempään liuos on kaivossa ja ehtii jäähtyä, vaikka virtaus olisi laminaarista. Jos konvektorille tuleva neste on liian lämmintä, on helpointa kytkeä maalämpöpumpun liuospumppu pyörimään viilennyksen kanssa yhtäaikaan, jolloin virtaus kaivossa muuttuu turbulenttiseksi ja lämmönsiirto tehostuu liuoksen ja porakaivon kallion välillä.



## LÄHTEET

1. Geoenergia. Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>. Hakupäivä 4.2.2015.
2. Geoenergia - näin se toimii. Rototec. Saatavissa: <http://rototec.fi/tuotteet-ja-palvelut/geoenergia.html>. Hakupäivä 4.2.2015.
3. Sanberg, Esa 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
4. Leppäharju, Nina. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Pro gradu tutkielma. Oulun yliopisto.
5. Huusko Asmo, Energiakaivokentän mitoituksen periaatteet. Suomen kylmähdistys ry. Julkaisu nro 75. 2014 (2). Asmo Huusko, Energiakaivokentän mitoituksen periaatteet.
6. Terminen vastetestti eli TRT-mittaus (Thermal Response Test). Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/tutkimus/tutkimusohjelmat/energia/trtmittaus.html>. Hakupäivä 4.2.2015.
7. Terminen vastetestti – TRT-mittaus. Rototec. Saatavissa: <http://rototec.fi/tuotteet-ja-palvelut/energiaporaus-geoenergiakentta.html>. Hakupäivä 4.2.2015.
8. Bergvärme på djupet, PDF -julkaisu. Svenska Kyl & Värmepumpföreningen. Saatavissa: [http://skvp.se/download/284-13525C006CCF2884038E21DE65D36C0B/bergvarme\\_pa\\_djupet.pdf](http://skvp.se/download/284-13525C006CCF2884038E21DE65D36C0B/bergvarme_pa_djupet.pdf). Hakupäivä 1.3.2015.
9. Juvonen, Janne – Lapinlampi, Toivo. 2013. Energiakaivo, maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Suomen ympäristökeskus.

10. Kallio, Jarmo. 2011. Geologiasta kestävää kasvua ja hyvinvointia. Geologian tutkimuskeskus – GTK. Saatavissa: <http://www.poratek.fi/binary/file/-/id/2/fid/84/%29>. Hakupäivä 6.3.2015.
11. Enervent. 2014. Suunnitteluohje, Ilmanvaihdon teoriaa & käytännön tietoa.
12. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä 6.3.2015.
13. Hakala, Pertti – Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
14. [http://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d\\_27.html](http://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html). Hakupäivä 4.3.2015.
15. Aittomäki, Antero. 2001. Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, energia- ja prosessitekniikka.
16. Niskala, Mikko 2013. T660303 Lämmitystekniikka 3, 4 op. Opintojakson luennot syksyllä 2013. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
17. Grundfos, WebCAPS pumpun mitoitusohjelma. Saatavissa: <http://net.grundfos.com/Apl/WebCAPS/custom?userid=GMAtotal&lang=FIN>. Hakupäivä 7.4.2015.
18. Wilo, Wilo-Select pumpun mitoitusohjelma. Saatavissa: <http://www.wilo.fi/kotisivu/suunnittelu-analyysi/tuoteselostus-analyysi/wilo-select-pumpun-mitoitusohjelma/#.VSPPq47LnYg>. Hakupäivä 7.4.2015.
19. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista, PDF –julkaisu. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: [http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=827685fa-942d-4727-abb3-ae2877e55a99&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=827685fa-942d-4727-abb3-ae2877e55a99&groupId=30106). Hakupäivä 26.3.2015.

## Kylmäliuosten aineominaisuudet ja materiaalien yhteensopivuus

**Etyylialkoholi – vesi,  $C_2H_5OH + H_2O$**

Pitoisuus [p-%]	11,0	18,8	24,5	29,5	34,9	40,9	46,8	53,1	60,1
Jäätymispiste [°C]	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45

**Tiheys, [kg/m<sup>3</sup>]**

[illegible]

**Ominaislämpökapasiteetti, [kJ/kgK]**

[illegible]

[illegible][illegible][illegible]